

А. Е. Гершберг

Электронные глаза телевидения

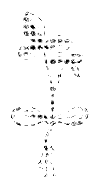
Издательство «Радио и связь»



Основана в 1947 году
Выпуск 1137

А.Е.Гершберг

Электронные глаза телевидения





Москва
«Радио и связь» 1989

ББК 32.94
Г 42
УДК 621.397.2:64

Рецензенты доктор техн наук НОВАКОВСКИЙ С В, СУСОВ В С

Гершберг А. Е.
Г 42 Электронные глаза телевидения. — М.: Радио и связь, 1989. — 80 с: ил. — (Массовая радиобиблиотека; Вып. 1137).
ISBN 5-256-00232-5.

В увлекательной форме рассказывается о том, как на экране телевизора появляется изображение, как работают приборы — «электронные глаза телевидения», с помощью которых осуществляются черно-белые и цветные передачи из любого уголка Земли, передачи из космоса, исследование удаленнейших объектов Вселенной и создаются «видящие» роботы, кино- и фотоаппараты без фотопленки и многое другое Рассматриваются различные явления, используемые в этих приборах.
Для широкого круга радиолюбителей.

Г $\frac{2302030200-012}{046(01)-89}$ 93-89 ББК 32.94

ISBN 5-256-00232-5

О чем эта книга?

О событиях в других городах или странах мы можем узнать, например, прочитав газету Ну, а если мы хотим их сами увидеть? Можно посмотреть фотографию, еще лучше — кинохронику. Но людям издавна хотелось наблюдать события в тот самый момент, когда они происходят. Это стало возможным благодаря телевидению. Для того чтобы телевидение появилось, наука и техника должны были решить ряд сложных задач Одна из них — заставить радиоволны переносить на большие расстояния звук и изображение, но для этого и звук, и изображение предварительно необходимо было превратить в электрические сигналы Преобразовать звук в такие сигналы можно с помощью микрофона (устройство этого прибора широко известно), а изображение — с помощью передающих телевизионных приборов, работа которых основана на фотоэлектрических явлениях (фотоэффекте)

Схема, поясняющая принцип передачи изображения в телевидении, приведена на рис 1 На ней показана передающая камера 1 — устройство, которое, используя передающий телевизионный прибор, генерирует электрические сигналы, соответствующие передаваемому изображению; передатчик 2 — устройство, генерирующее мощные электромагнитные колебания и смешивающее их с электрическими сигналами изображения; антенна 3, посылающая в эфир радиоволны, созданные в передатчике; антенна 4, принимающая радиоволны и направляющая их в приемник; приемник 5, преобразующий электрические сигналы в изображение.

О том, как происходит процесс преобразования изображения в электрические сигналы, какие физические явления при этом используются, как устроены эти преобразователи — глаза телевидения, и пойдет речь

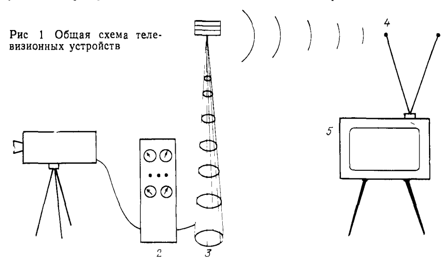


Рис 1 Общая схема телевизионных устройств

Глава 1

НАКОПЛЕНИЕ ФОТОЭЛЕКТРОНОВ И ВЕЩАТЕЛЬНОЕ ТЕЛЕВИДЕНИЕ

Мозаика телевидения. Некоторый опыт, как зафиксировать изображение, чтобы его можно было затем воспроизвести в другом месте, телевидение могло заимствовать у кино Как известно, в кино движущиеся предметы фиксируются в виде множества моментальных неподвижных изображений — кадров. Так как кадры следуют друг за другом очень часто (24 кадра в секунду) и положение предмета от кадра к кадру меняется мало, то благодаря инерции нашего зрения мы видим предметы движущимися плавно Каждый кадр в кино — это отдельный снимок на пленке Просветит его проектор — и кадр попадает на экран

В телевидении изображение тоже передается отдельными кадрами, но оно пока не имеет средств передавать все изображение одного кадра целиком, поэтому так же, как и в мозаике, вся картина (кадр) разбивается на множество мелких участков — квадратиков Каждый квадратик в кадре в зависимости от того, где он расположен, темнее или светлее (в черно-белом телевидении) или окрашен в различные цвета (в цветном телевидении) Чем мельче квадратики, на которые разбита картина, и, следовательно, чем больше их число, тем мозаика более точно передает натуру Чтобы телевизионное изображение было достаточно хорошим, его необходимо разделить примерно на 500 тыс квадратиков. Но так как в телевидении в отличие от настенной мозаики изображения движущиеся, то окраска и яркость квадратиков от кадра к кадру меняются. (Такой способ передачи изображений был предложен учеными португальским де Пайва и русским П И Бахметьевым)

Что же должен «уметь» передающий телевизионный прибор? Он должен разбивать передаваемые изменяющиеся изображения на отдельные кадры длительностью примерно в 1/25 с, а каждый такой кадр на 500 тыс. квадратиков. Он должен каждую 1/25 с выдавать 500 тыс электрических сигналов, которыми затем «нагружается» радиоволна Должно быть точно известно, к какому из квадратиков относится каждый сигнал, и уровень сигнала должен быть больше или меньше в зависимости от того, светлее или темнее участок изображения, попадающий в данный квадратик. При этом условии можно добиться того, чтобы на экране телевизора самые яркие точки соответствовали самым ярким квадратикам передаваемого кадра, самые темные точки на экране — самым темным в кадре и, следовательно, на экране воспроизводилась передаваемая сцена.

Задача поставлена не из легких!

Механическая развертка и фотоэлемент. Посылать свет передаваемого изображения в виде отдельных порций, каждая из которых — это маленький кусочек изображения, можно с помощью движущихся диафрагм или зеркал. Рассмотрим работу системы с механической разверткой на примере диска П. Нипкова, работающего в паре с фотоэлементом. Такая система была использована в первом передающем устройстве, получившем практическое применение, когда электроника еще была развита слабо.

Фотоэлемент — прибор, имеющий фоточувствительную поверхность (фотокатод), с которой под действием света внутрь прибора выходят электроны (это явление называется внешним фотоэффектом). Ток, проходящий через фотоэлемент, тем больше, чем больше попадает на него света.

Изготовленный из непрозрачного материала диск Нипкова имеет квадратные отверстия, расположенные по спирали (рис 2). Число отверстий равно числу строк, на которое должно быть разбито передаваемое изображение. На диск объективом проецируется передаваемое изображение, с другой стороны диска расположен фотоэлемент, на который попадает свет, проходящий через одно отверстие диска (так как отверстия очень малы, на рис. 2 они показаны не в масштабе, произвольно показано и их расположение). Представим себе, что ближайшее к краю диска отверстие расположено в левом верхнем углу проекции передаваемого изображения. При вращении диска это отверстие прочертит по проекции изображения дугу (рис. 3). Так как размеры диска значительно больше проецируемого на него изображения, то можно пренебречь кривизной дуги, по которой движется отверстие, и считать, что оно движется по прямой, т. е. прочерчивает на проекции изображения строчку. Таким образом, если в данный момент на фотоэлемент попадает свет от некоторого элемента изображения, расположенного на его верхней строке, то в следующий момент попадает свет от соседнего элемента этой строки. Расстояние между отверстиями диска по дуге равно длине строки, а по радиусу — ее ширине. Поэтому, когда первое отверстие прочертит первую строку, второе окажется

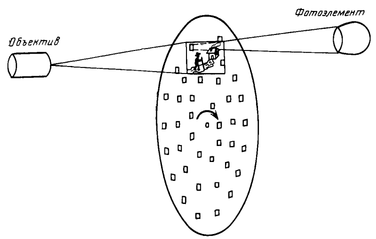


Рис. 2. Общая схема устройства с диском П. Нипкова

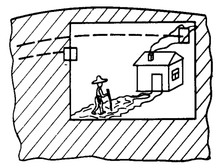


Рис. 3. Движение отверстий диска (штриховая линия) по изображению, проецируемому на диск

у левого края проекции изображения на уровне второй строки и при дальнейшем вращении диска будет прочерчена аналогичным образом вторая строка, а за ней следующие. Один оборот диска соответствует одному кадру. В течение кадра ток фотоэлемента изменяется во времени пропорционально освещенности отдельных элементов изображения. (Хотя в отличие от мозаики строго ограниченных элементов при передаче изображения нет, так как отверстия диска движутся, но каждый кусочек изображения, равный отверстию диска на фотоэлементе, — практически тот же элемент.)

Если с помощью тока фотоэлемента управлять свечением кинескопа в телевизоре, то яркость отдельных участков экрана кинескопа будет изменяться так же, как яркость элементов передаваемого изображения. Следовательно, на экране мы увидим это изображение

Достоинством передающего устройства с диском Нипкова является простота, а недостатком — его громоздкость В сравнении с современными компактными электронными устройствами диск напоминает колесо старинной арбы без спиц Однако основным недостатком диска Нипкова оказывается необходимость в очень высокой освещенности Так, например, для получения хорошего изображения при разложении на 600 строк и 25 кадров в секунду необходима освещенность в миллионы люкс. Для сравнения отметим, что освещенность, создаваемая прямыми солнечными лучами, равна ста тысячам люкс, а освещенность, необходимая для чтения и письма, равна лишь тридцати люксам.

Многие приборы или машины, созданные на основе новых принципов, в момент рождения являются несовершенными Вспомним, что перед первыми поездами ехал всадник, оповещавший о приближении поезда, а первые аэропланы очень ненадолго отрывались от земли Однако оказалось, что малая чувствительность устройства с диском Нипкова и аналогичных систем не связана с конструктивным несовершенством прибора, а результат действия физических законов Речь идет о законах, относящихся к физическим явлениям, в которых участвует очень большое число объектов На этих законах мы и остановимся.

Статистические законы физики. Шумы. Население земного шара состоит наполовину из мужчин, наполовину из женщин. Следовательно, вероятности встречи с мужчиной или женщиной равны Однако не обязательно, чтобы из первых двух встреченных один был мужчина, а другой — женщина. Все встречные могут быть одного пола (например, мимо Вас промаршировала рота солдат) Но по мере увеличения числа встреч доли мужчин и женщин все более будут приближаться к 50% Следовательно, встреча с мужчиной и встреча с женщиной — события равновероятные, но только при достаточно большом числе встреч Это статистический закон.

Другой широко используемый пример — какой стороной кверху упадет подброшенная монета. Очевидно при одном-двух бросаниях результат может быть любой. Если же число подбрасываний будет очень велико, то практически число случаев, когда монета упадет кверху аверсом, будет равно числу случаев, когда монета упадет кверху реверсом. Это тоже статистический закон.

И в физике действуют статистические законы. В частности, закон, определяющий количество излучаемого света. Количество элементарных частиц света (фотонов), испускаемых обычными источниками света, очень велико. Например, количество фотонов видимого излучения, испускаемых в одну секунду лампой накаливания мощностью 100 Вт, выражается девятнадцатизначным числом.

Иное дело, если источником света является элемент изображения, проецируемый на отверстие диска Нипкова. (То, что эти элементы лишь отражают падающий на них свет, в данном случае значения не имеет, и для простоты можно рассматривать их как источники света.) Поскольку излучение одного очень малого по площади элемента проецируемого изображения незначительно и свет от одного элемента фиксируется фотоэлементом в течение непродолжительного отрезка времени, невелико также число фотонов, попадающих в фотоэлектрический приемник от одного элемента изображения. При малом числе фотонов проявляется статистический характер законов излучения. Так, если в соответствии с законами излучения некоторый элемент за время, пока он находится против отверстия диска, должен испустить 100 фотонов, то эта цифра характеризует только усредненное во времени излучение. Фактически же в данном кадре это излучение может быть равным, например, 90 фотонам, в следующем кадре — 80 фотонам, затем с поверхности срывается сгусток в 120 фотонов и т. д. (эти изменения называются флуктуациями). Допустим, что передаваемый объект представляется наблюдателю имеющим постоянную яркость При описанном методе передачи яркость каждого элемента этого объекта от кадра к кадру изменяется. Переданное при таких условиях изображение будет состоять из мерцающих точек, так как яркость передаваемых элементов во времени непостоянна. Паразитные переменные токи, создающие мерцание изображения на экране телевизора, называются шумами. При больших шумах на всем экране телевизора появляются мерцающие точки и изображение перестает быть видным

Если снабдить передающее устройство мощным усилителем, чтобы получить от него сигналы большого уровня, то шумы увеличатся тоже. Поэтому конструктивными усовершенствованиями нельзя устранить недостатки устройств с механической разверткой Лишь при очень высокой освещенности небольшой элемент изображения за короткое время испускает столь большое число фотонов, что колебания их числа в потоке несущественны Следовательно, чтобы получить хорошее изображение на экране телевизора, необходимо очень сильно освещать передаваемую сцену.

Принцип накопления. Но оказалось, что существует все же возможность избежать сильного влияния флуктуаций света, значит, не исключена возможность создания передающих приборов, работающих при невысоких освещенностях. Рассказ о том, как это удалось сделать, начнем с примера, не относящегося к электронике.

Представим себе путешественников, которые остановились на ночевку в местности, где нет ни озера, ни реки, ни родника и лишь из трещины скалы падают редкие капли воды. Подставив с вечера под скалу ведро, утром путешественники имели воду для приготовления пищи.

Этот пример аналогичен работе передающего телевизионного прибора. Если бы путешественники захотели набрать воду сразу, им бы не удалось это сделать — слишком слаб источник. А элементы передаваемого изображения, как мы уже выяснили, если освещение неяркое, не могут дать достаточно большой поток электронов, чтобы в нем была мала роль флуктуаций в момент, когда свет от данного элемента изображения проходит через окошко диска Нипкова. Но элемент изображения излучает фотоны не только тогда, когда он совмещен с отверстием диска, а непрерывно (как капает вода из трещины). Очевидно, надо собрать весь свет, испускаемый элементом за весь кадр (иначе — за полный оборот диска), и в момент создания сигнала от этого элемента использовать весь собранный свет. Если изображение делится на 500 тыс. элементов, то кадр в 500 тыс. раз продолжительнее времени передачи сигнала от одного элемента. Следовательно, во столько же раз число фотонов, накопленных от излучения одного элемента за кадр, будет больше числа фотонов, испускаемых элементом непосредственно за время передачи сигнала от этого элемента. При таком огромном росте числа фотонов их флуктуации уже не имеют большого значения. Следовательно, сигнал, не искаженный влиянием флуктуаций, может быть получен при относительно небольшой освещенности.

Не следует забывать, что в приведенном примере о путешественниках достаточно было одного ведра, а для телевизионного прибора подобных накопителей надо 500 тыс, чтобы отдельно собрать фотоны, излучаемые каждым элементом Что же это за «ведро», в котором можно, как в копилке, собирать свет? Создать такой накопитель можно, если с помощью фотоэлектрических явлений вместо потока фотонов получить поток электронов. Способ же накопления электрических зарядов известен. Значит, вопрос сводится к созданию прибора, использующего принцип накопления зарядов.

Как часто бывает в истории развития науки и техники, идея использования принципа накопления в передающих телевизионных приборах была почти одновременно высказана несколькими учеными :в 1930 г. А. П. Константиновым, в 1931 г. С. И. Катаевым, и в том же 1931 г. В. К. Зворыкиным был создан вакуумный прибор, использующий принцип накопления, — иконоскоп. (Вакуумные передающие приборы из-за их вытянутой формы называют «трубками»).

Накапливающая мишень. Чтобы лучше представить себе, как может осуществляться в передающих приборах принцип накопления, мы начнем рассказ с мишени иконоскопа — предшественника современных приборов. Мишень — это основная деталь иконоскопа, в которой и осуществляется накопление. Она представляет собой тонкую слюдяную пластинку, металлизированную с двух сторон (рис. 4) При изготовлении мишени одну ее сторону металлизируют тонким слоем серебра Затем мишень нагревают, сплошной слой серебра распадается на отдельные серебряные комочки, изолированные друг от друга. Полученная мозаика подвергается обработке, под действием которой поверхность серебра оказывается покрытой тончайшими пленками окиси серебра и щелоч-

ного металла цезия. Цезий, как все щелочные металлы, химически активен и с кислородом реагирует очень бурно, поэтому воздух из иконоскопа откачивают. Цезированная и окисленная поверхность мозаики является фотокатодом, т. е. под действием света она испускает электроны. При работе иконоскопа передаваемое изображение проецируется на фоточувствительную мозаику, и серебряные комочки, потеряв отрицательный заряд, оказываются заряженными положительно относительно металлизированной другой стороны слюдяной пластинки [1]. Следовательно, чем ярче данный элемент изображения, тем больше света падает на соответствующий ему участок фоточувствительной мозаики и тем больше положительный заряд, создаваемый на этих участках (рис. 4).

Рис 4. Мишень иконоскопа и зарядка ее фотоэлектронами: 1 — серебряная мозаика, 2 — слюда; 3 — сплошная металлическая подложка — сигнальная пластина, 4 — неосвещаемая часть мишени; 5 — освещаемая часть мишени

Возвращаясь к приведенному ранее примеру с водой для путешественников, можно сказать, что серебряные комочки на мишени и есть те полмиллиона сосудов, в которых, не смешиваясь, накапливается свет от каждого элемента изображения отдельно. Однако накопленные на мишени заряды — это еще не ток сигнала на входе усилителя. Для того чтобы его получить, с помощью специального устройства в приборе создается очень узкий поток электронов — электронный луч (так же, как устройство, создающее узкий направленный луч света, оно называется прожектором). В отличие от светового, электронный прожектор работает только в вакууме. Электронный луч, строка за строкой, прочерчивает в течение кадра всю мишень. При взаимодействии луча с зарядами, накопленными на серебряных комочках мишени, и образуется сигнал, нужный для телевизионной передачи. Как именно он образуется, рассмотрим на примере современных приборов Однако сразу можно отметить важную особенность Время, в течение которого электронный луч находится на одном элементе изображения, меньше длительности кадра в число раз, равное числу элементов, на которое разбито изображение Для изображения хорошего качества это число близко к 500 тыс Элементы мишени накапливают заряды в течение кадра Следовательно, каждый элемент в течение 1/500 000 кадра образует сигнал с помощью заряда, созданного под действием фототока, протекавшего в течение всего кадра Так осуществляется принцип накопления.

Суперортикон. Первый прибор с накоплением — иконоскоп — был очень несовершенен В 1945 г. был создан новый прибор — суперортикон. Рассмотрим устройство и принцип его действия (рис. 5 и 6). Внешне прибор представляет собой цилиндр длиной около 0,5 м, причем форма его не строго цилин-

[1] Электроны, вышедшие из твердого тела под действием света, иногда называют «фотоэлектронами». Естественно, что эти электроны ничем не отличаются от любых других. Но такое название напоминает, как создан электронный поток

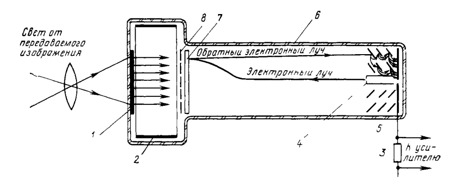


Рис 5 Устройство суперортикона

1 — фотокатод, 2 — электрод, ускоряющий фотоэлектроны 3 — сспротивление нагрузки 4 — прожектор, 5 — умножитель, 6 — оболочка, 7 — мишень, 8 — сетка

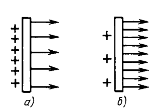


Рис. 6. Механизм действия мишени суперортикона На тех участках мишени (*а*), где положительный заряд велик, ток обратного луча мал, а на участках мишени (*б*), где положительный заряд мал, ток обратного луча больше

дрическая Он состоит как бы из двух частей, диаметр одной части несколько больше, чем другой Соответственно и внутренний объем прибора разделен на две части расположенной поперек прибора мишенью Слева, на внутренней стороне торцевого стекла колбы нанесен фотокатод Далее следует цилиндрический электрод, потенциал которого на несколько сот вольт выше потенциала фотокатода Ускоренные этим электродом фотоэлектроны попадают на мишень из материала, имеющего высокое сопротивление электрическому току. Под действием ударов фотоэлектронов из материала мишени вылетают вторичные электроны Причем материал мишени и скорость фотоэлектронов подобраны так, чтобы каждый фотоэлектрон выбивал четыре-пять вторичных электронов (эта величина называется коэффициентом вторичной эмиссии) Таким образом, вторичная эмиссия действует как усилитель фототока Вторичные электроны с мишени попадают на расположенную перед мишенью сетку, мишень заряжается Снаружи на суперортикон надевается катушка Когда по катушке протекает ток, в приборе создается магнитное поле, силовые линии которого направлены вдоль оси прибора Такое поле обладает свойством «не позволять» электронам далеко удаляться от своих силовых линий Получается, что фотоэлектрон, следуя по силовой линии, попадает в точку мишени, расположенную напротив той точки фотокатода, из которой он вышел. Значит, в точки мишени, расположенные против наиболее освещенных участков катода, попадает фотоэлектронов (и уйдет вторичных электронов) больше, чем в другие точки Поэтому на мишени получится распределение зарядов, которое повторяет распределение освещенности на фотокатоде При этом на пра-

вой стороне мишени распределение потенциалов повторяет распределение потенциалов на левой стороне мишени.

Таким образом, более широкая часть суперортикона, называемая секцией переноса (мы назвали ее левой), — это автоматическая «копилка», которая накапливает все фотоэлектроны за кадр, складывая их на мишени для каждого элемента изображения отдельно, да еще при этом увеличивая накопленные заряды за счет вторичной эмиссии мишени. Задача устройств, расположенных в правой части прибора, состоит в том, чтобы, используя накопленные на мишени заряды, создать сигналы изображения.

В правой части прибора располагается прожектор, создающий электронный луч, который прочерчивает строка за строкой всю мишень На электроды прожектора подаются такие напряжения, при которых вблизи мишени электрическое поле — тормозящее и скорость электронов у мишени получается очень малой На участки мишени с самым положительным потенциалом все электроны попадут, а до участков с самым низким потенциалом практически все не дойдут. Туда, где потенциалы имеют промежуточное значение, дойдет некоторая часть электронов Остальные электроны, исчерпав запас имеющейся у них скорости, остановятся, не дойдя до мишени Благодаря небольшой скорости электронов луча достаточно очень малого изменения потенциала мишени (а значит, малого изменения освещенности), чтобы изменилось число доходящих до мишени электронов Не попавшие на мишень электроны после остановки под действием электрического поля, которое тормозило их движение к мишени, начнут ускоряться обратно в направлении к прожектору Здесь на их пути расположен умножитель электронов — столбик дисков из материала с большим коэффициентом вторичной эмиссии Отраженные от мишени электроны, ударяя в первый диск, выбивают из него в несколько раз больше вторичных электронов Диск не сплошной, а имеет щели и напоминает ставни-жалюзи. Так как потенциал второго диска значительно выше первого, то вторичные электроны из первого диска сквозь щели устремляются ко второму диску и из него тоже выбивают вторичные электроны. Второй диск также имеет щели, а потенциал третьего диска выше потенциала второго Таким образом, число электронов от диска к диску сильно возрастает Так, если коэффициент вторичной эмиссии равен 4, то ток, уходящий с первого диска, в 4 раза больше тока, на него приходящего Ток со второго диска больше тока, приходящего на первый, в 16 раз Ток с третьего диска больше в 64 раза, с четвертого — в 256 раз и т. д Обычно дисков бывает шесть, следовательно, ток увеличивается в несколько тысяч раз Поэтому у последнего диска электронный поток весьма большой, в частности много больше тока электронного луча. С последнего диска ток по выводу направляется во внешнюю цепь к усилителю

Когда электронный луч проходит участки мишени, расположенные против наиболее освещенных участков фотокатода и поэтому имеющих самый высокий потенциал, то количество отраженных от мишени электронов минимально и соответственно ток на выходе прибора имеет наименьшее значение. При прохождении лучом участков мишени, расположенных против самых темных мест фотокатода, ток на выходе прибора максимален Соответственно ток имеет и промежуточные значения при остальных освещенностях. Таким образом, оче-

видно, что ток с последнего диска умножителя электронов — это тот сигнал, который должна создавать передающая трубка.

В течение кадра на левой (рис. 5) поверхности мишени (против фотокатода) накапливается положительный заряд Равный ему отрицательный заряд появляется на правой стороне мишени, когда луч приходит на этот участок. Сопротивление мишени такое, что за кадр положительные и отрицательные заряды взаимно нейтрализуют друг друга и суперортикон готов к дальнейшей работе, т е. к созданию сигналов изображения в следующем кадре. Вместе с тем сопротивление материала мишени настолько велико, что заряды по ее поверхности практически не перемещаются Поэтому, хотя мишень не мозаичная, как у иконоскопа, а сплошная, заряды, созданные фототоками отдельных элементов изображения, не смешиваются друг с другом.

Устройство суперортикона имеет значительное преимущество по сравнению с иконоскопом Что в себе совмещает мишень — основной узел иконоскопа? Во-первых, она — фотокатод, во-вторых, — накопительная емкость, в-третьих, — поверхность, на которой происходит увеличение числа электронов за счет вторичной эмиссии, и, наконец, она является поверхностью, на которой накопленные заряды, взаимодействуя с приходящим электронным лучом, образуют сигнал В суперортиконе все функции разделены между отдельными узлами и поэтому выполняются значительно эффективнее, чем в иконоскопе

Путь движения электронов с малой энергией сильно зависит от потенциала мишени. Поэтому небольшое изменение потенциала мишени вызывает заметное изменение значения возвращающегося к прожектору тока. Это еще одна из особенностей суперортикона, делающих прибор очень чувствительным к свету

Благодаря вторично-эмиссионному усилению тока перед выходом из прибора ток сигнала во внешней цепи велик А это очень важно, и вот почему. Малые электрические токи, так же как небольшие световые потоки, все время колеблются вокруг своего среднего значения. Этот закон справедлив для всякого малого тока, вне зависимости от того, как данный ток создается. В частности, не строго постоянны и токи отдельных транзисторов, а следовательно, и усилителя в целом (при постоянном потенциале на входе усилителя). Когда колебания тока усилителя и сигнал передающей трубки близки по уровню, эти изменения тока усилителя приведут к возникновению и исчезновению на экране телевизора множества светящихся точек (появление светящейся точки соответствует увеличению в какой-то момент тока усилителя). Но, так как сигнал суперортикона велик, шумовые колебания тока усилителя оказываются незаметными. Качество телевизионного изображения получается хорошим.

Выше отмечалось, что для передачи изображения с большим число элементов с помощью устройства из фотоэлемента и диска Нипкова требуется огромная освещенность Иконоскоп, в котором использован принцип накопления, впервые позволил осуществить телевизионные передачи с большим числом элементов разложения при реально достижимой освещенности. Однако освещенность была еще настолько велика, что артисты, выступавшие в первых телевизионных передачах, обливались потом из-за жары, создаваемой осветительными лампами, а длительная работа в таких условиях портила зрение.

Высокая чувствительность суперортикона позволила создать в студиях при передачах нормальное освещение. Суперортиконы сделали возможными и внестудийные передачи с естественным освещением, когда высокая освещенность не гарантирована Благодаря суперортиконам телезрители получили возможность увидеть парад на Красной площади, наблюдать за футбольным матчем вместе с болельщиками, сидящими на стадионе. Создание суперортикона стало началом телевизионного вещания, но пока только черно-белого.

Кто изобрел суперортикон? Сообщение о разработке суперортикона было сделано американскими инженерами А. Роузом, П. Веймером и Н. Лоу. Но можно ли считать, что они одни изобрели этот прибор? До суперортикона был создан целый ряд промежуточных приборов.

Разделение фотокатода и мишени с переносом фотоэлектронов в магнитном поле продолжили еще в 1933 г. советские ученые П. В. Шмаков и П. В. Тимофеев Такие приборы были разработаны советскими инженерами Б. В. Круссером, И Ф. Песьяцким, Н. И. Тхоржевским, выпускались промышленностью и долгое время использовались на наших телецентрах. Но их чувствительности не хватало для внестудийных передач.

В Англии, несколько позже, независимо от советских ученых такую трубку разработал Н. Любщинский, а в 1939 г. американцы А. Роуз и Н. Джеймс создали передающую телевизионную трубку со считыванием мишени электронами малой энергии В 1938 г. советским ученым Г В Брауде была предложена двусторонняя мишень, т. е. мишень, на которой накопление зарядов происходит на одной поверхности, а считывание — на другой.

Вторично-электронные умножители были предложены и разработаны советским инженером Л А. Кубецким, а жалюзийная их конструкция, примененная на выходе суперортикона, впервые выполнена советским же ученым С. А Векшинским.

Сказанное не умаляет заслуг талантливых американских инженеров А. Роуза, П Веймера, Н. Лоу, а показывает, что их работа не гениальное прозрение одиночек, а венец труда многих ученых и инженеров и что прогресс современных сложных технических устройств всегда является результатом коллективных усилий.

Фундамент электроники. Создание совершенных передающих трубок невозможно без серьезных исследований в ряде наук.

Все достижения электроники стали возможны благодаря появлению новой науки о строении вещества — квантовой механики. Ученые обнаружили, что поведение электрона в твердом теле и в атоме не похоже ни на что, с чем ранее сталкивалась физика Наш повседневный опыт противопоставляет понятие о волнах понятию о материальных телах. Это противопоставление дополняется тем, что известные физические явления — интерференция и дифракция — свойственны волнам и невозможны для материальных частиц. Оказалось же, что электрон ведет себя и как частица, и как волна. Следовательно, электроны и другие частицы микромира отличаются от более крупных элементов материи не просто величиной, а особыми свойствами Этот вывод означал ломку сложившихся в науке понятий Представление об электронах как частицах-волнах осваивалось не менее трудно, чем во времена Коперника представление о Земле, вращающейся вокруг Солнца Мысль, что Земля вращается вокруг сво-

ей оси и вокруг Солнца, казалась весьма странной, но она подтвердилась опытом мореплавания и астрономии. Также и «странный» электрон в виде симбиоза частицы и волны позволил объяснить, как взаимодействует свет с твердым телом, и создать теорию фотоэффекта, вторичной эмиссии и ряда других явлений. И, в конечном счете, создать промышленное производство электронных приборов Основанная на квантовой механике наука, изучающая явления ухода электронов из твердого тела под действием света, удара электронов или ионов, сильного электрического поля, тепла, называется катодной электроникой.

Создание передающих трубок потребовало развития еще одной науки — электронной оптики, изучающей движение заряженных частиц в электрических и магнитных полях Рассмотрим примеры того, какую роль играет эта наука в создании передающих трубок. Из описаний устройства иконоскопа и суперортикона мы уже знаем, что в этих приборах по мишени движется узкий электронный луч Необходим он и в других передающих трубках.

Многие вещества в нагретом состоянии интенсивно испускают электроны. Деталь прожектора, нагретая до нужной температуры, покрытая специальным составом и испускающая электроны, называется катодом. Но поток электронов из катода широкий Как его сделать очень узким, чтобы луч различал потенциалы малых участков мишени, и при этом ток луча был бы достаточным? Какие надо расположить у катода электроды, какие подать на них напряжения? Все это задачи, которые решает электронная оптика

Рассмотрим еще один пример. Чтобы электронный луч чертил на мишени строку за строкой, его надо отклонять. Отклоняющее устройство напоминает регулировщика движения, который направляет поток транспорта то в одном, то в другом направлении К отклоняющему устройству поток приходит всегда из одной точки — выходного отверстия прожектора (рис 7), а уходит от него в разные моменты к разным точкам мишени.

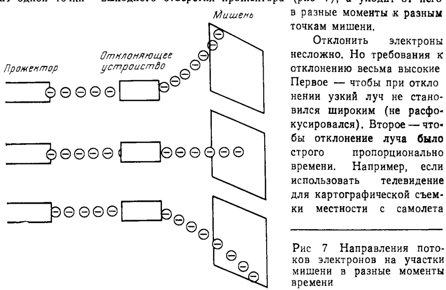


Рис 7 Направления потоков электронов на участки мишени в разные моменты времени

Отклонить электроны несложно. Но требования к отклонению весьма высокие Первое — чтобы при отклонении узкий луч не становился широким (не расфокусировался). Второе — чтобы отклонение луча было строго пропорционально времени. Например, если использовать телевидение для картографической съемки местности с самолета

или спутника, то отступления от пропорциональности отклонения допустимы в пределах долей процента. Так точно надо отклонять электроны в каждой из 600 строк, в каждом кадре. Как достичь такой точности? Как уменьшить расфокусировку, создающуюся при отклонении? Что могут дать изменение формы электродов, помещение вблизи них других, вспомогательных, замена электрического поля магнитным? И эти задачи решаются с помощью электронной оптики. Она позволила получать узкие электронные лучи, фокусирующиеся на мишени в острие более тонкое, чем острие иголки, отклонять их, не внося значительных изменений в их свойства, и т. д.

Даже по краткому описанию принципа действия суперортикона понятно, что прибор этот не из простых. При детальном же рассмотрении требований, предъявляемых к отдельным его узлам, оказывается, что в действительности он еще сложнее, чем казался при первом знакомстве А если не выполнить эти требования, параметры суперортикона будут невысокими, и тогда такой сложный прибор бесполезен.

Важнейшей частью суперортикона является мишень Именно на ней накапливаются заряды, которые затем с помощью считывающего электронного луча и вторично-электронного умножителя преобразуются в полезные сигналы. К материалу, из которого изготавливают мишень, предъявляется много требований. Кроме того, для работы суперортикона необходимо, чтобы мишень была толщиной всего лишь около микрометра. Таким образом, нужна тонкая пленка площадью примерно 10 $см^2$, выдерживающая перепады давления при откачке воздуха из прибора, удары при перевозке и эксплуатации, а также прогрев. Из какого материала ее делать? По преданию, Эдисон, подбирая материал для нити лампы накаливания, остановился на древесном угле из бамбука, но, чтобы найти наиболее подходящий, он перебрал 2000 сортов бамбука из многих уголков планеты. За необходимым материалом для мишени суперортикона не пришлось ездить далеко — им оказалось оконное стекло Стеклодувы из капли расплавленного стекла выдували большого размера пузырь, вроде мыльного, переливающийся всеми цветами радуги. Но для изготовления мишени выбирался лишь небольшой, наиболее равномерный, определенной толщины участок стеклянного пузыря. Таким методом делали суперортиконы в лабораториях. Но при производстве на заводе пленок потребовалось очень много. А не из каждого пузыря получалась пленка и не каждая пленка «доходила» до прибора (не трескалась при натяжении на рамку, не портилась при других операциях). Выход пленок зависел от искусства стеклодувов Таким образом, для обеспечения производства мишени требовалось большое число опытных стеклодувов и при этом не исключалось, что количество удачных пузырей, а следовательно, и мишеней будет мало Как не могли быть одинаковыми изготовленные таким образом пленки, так и готовые суперортиконы отличались чувствительностью или другими своими свойствами. На заводах при серийном изготовлении суперортиконов начали получать пленку на специальной машине прокаткой, вроде того как из расплавленного металлического слитка прокаткой получается тонкая жесть Изготовленная таким способом пленка была более однородной Легче настраивалась аппаратура, так как отдельные экземпляры трубок стали ближе друг к другу по своим свойствам Пришлось заменить и материал мишени В оконном стекле, так же как в растворах солей, кислот,

щелочей, электрический ток создается движением ионов. Естественно, что положительные ионы движутся к отрицательной поверхности пленки, а отрицательные — наоборот. Поэтому при работе прибора мишень постепенно становилась химически неоднородной по толщине. Для участков, долгое время освещавшихся сильнее других, неоднородность мишени была иной, и эти участки выделялись на изображении. Суперортиконы оказались недолговечными, так как фон передаваемого изображения очень быстро делался неравномерным Поэтому для мишеней стали применять специальный сорт стекла, в котором так же, как в металлах, электрический ток создается движением электронов. Промышленный выпуск суперортиконов сделал возможным широкое развитие телевидения.

Глава 2

ФОТОЭЛЕКТРОНЫ ОСТАЮТСЯ ВНУТРИ ТВЕРДОГО ТЕЛА. ПРИКЛАДНОЕ ТЕЛЕВИДЕНИЕ

Внешний и внутренний фотоэффекты. Итак, теперь мы знаем, что создание сигнала в передающей трубке начинается с того, что под действием попадающего на нее светового изображения из фотокатода вырываются электрические заряды — электроны. Эффект этот, как известно, называется внешним фотоэффектом Однако внешний фотоэффект не единственная возможность преобразования света в электрические явления

Ряд материалов изменяет свое сопротивление электрическому току под действием света. Это явление называется внутренним фотоэффектом, а вещества, в которых оно проявляется, называются фотопроводниками При внешнем фотоэффекте электрон, находящийся внутри фотокатода, вследствие поглощения энергии светового кванта получает настолько большую энергию, что ее достаточно для преодоления связи между этим электроном и фотокатодом и выхода наружу. Что же происходит в твердом теле при внутреннем фотоэффекте? Электроны в фотопроводнике крепко связаны с ядром атома Каждый из них движется по некоторой орбите и, перемещаясь в твердом теле, остается все же вблизи ядра атома (рис 8,*а*) Увеличив энергию за счет поглощения кванта света, электрон делается свободным внутри фотопроводника и может свободно перемещаться в нем (рис. 8,*б*) Поэтому, если к освещенному фотопроводнику приложить напряжение, через фотопроводник пойдет относительно большой ток (это и есть уменьшение сопротивления фотопроводника, о котором мы говорили). В случае внешнего фотоэффекта электрон подобен снаряду, который покидает Землю с такой скоростью, что выходит из зоны ее притяжения (и может достичь, например, Луны) В случае внутреннего фотоэффекта электрон можно сравнить со снарядом, который отрывается от Земли, но скорость его недостаточна, чтобы совсем покинуть Землю, и он становится ее спутником.

При внутреннем фотоэффекте появляется и другой вид проводимости, определяемый атомами, от которых ушли электроны, ставшие свободными Связанные электроны не могут свободно перемещаться в твердом теле на значи-

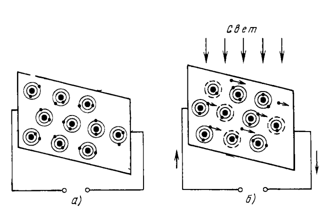


Рис. 8 Внутренний фотоэффект в фотопроводнике

тельные (в масштабе атомов) расстояния. Но если у некоторого атома (назовем его первым) не хватает электрона, то от ближайшего соседнего атома (второго) связанный электрон может перейти на свободное место в первом атоме (на рис. 8,б орбиты, на которых нет электронов, показаны штриховой линией). Затем связанный электрон из третьего атома может перейти на свободное место во втором атоме и т д Свободный электрон можно уподобить путнику, шагающему по дороге, а связанный электрон — солдату на поле боя, который перемещается короткими перебежками от одного укрытия к другому. Поскольку переходы связанного электрона большей частью совершаются в направлении действия электрического поля, то такие переходы означают наличие в веществе электропроводности, называемой дырочной электропроводностью. Происхождение этого названия таково В первый момент не хватает электрона вблизи первого атома и там, где должен быть этот недостающий электрон, пусто — дырка Затем электрона не хватает у второго атома, затем у третьего и т. д. Процесс идет так, как будто движется дырка Для краткости говорят, что в результате действия кванта света в фотоприемнике возникают два переносчика электрического тока — электрон и дырка. Если при приложении к веществу электрического поля электроны перемещаются значительно быстрее, чем дырки, то в таком веществе проводимость электронная Если же перемещения электронов медленнее дырок, то основную роль в электропроводности играет дырочная проводимость.

Использование фотопроводников для создания телевизионных приборов заманчиво тем, что фототоки в них гораздо больше, чем при внешнем фотоэффекте. Первым указал на эту возможность советский академик А А Чернышов в 1925 г

Это было время, когда в Советском Союзе начала бурно развиваться физика и связанные с нею области техники. В Ленинградском физико-техническом институте, созданном А. Ф. Иоффе, и носящем ныне его имя, и работал академик А А. Чернышов, выдвинувший идею трубки на фотопроводниках

Первые действующие видиконы — так назвали передающую телевизионную трубку, использующую внутренний фотоэффект и работающую на принципе на-

копления световой энергии, — удалось создать американским инженерам П Веймеру, С. Форжу, Р. Гудричу в 1950 г

Как устроен видикон? Так же, как при внешнем фотоэффекте, используя внутренний фотоэффект, можно создать передающую трубку прямого действия — аналог устройства с диском П Нипкова и фотоэлементом — и трубку с накоплением — прибор, использующий ряд технических решений, впервые примененных в иконоскопе Но трубка без накопления и в этом случае при не слишком сильном освещении, несмотря на высокую чувствительность фотопроводника, давала сильно зашумленное изображение

Видикон — новый прибор с фотопроводящей мишенью, необычайно расширивший возможности телевидения, удалось создать, только применив принцип накопления В видиконе фотопроводящая мишень представляет собой тонкую пленку (толщина ее колеблется от тысячных до сотых долей миллиметра), нанесенную на тонкую же (прозрачную) проводящую подложку — сигнальную пластину (рис 9) Слой фотопроводника при работе видикона постоянно заряжен Это достигается тем, что (как и в других передающих трубках) мишень непрерывно прочерчивается электронным лучом, который ее заряжает. Сечение электронного луча значительно меньше площади, которую он обегает. Поэтому на участке, равном по величине его сечению, луч находится меньше одной миллионной доли секунды и снова возвращается к этому участку мишени относительно не скоро (например, через сотые доли секунды) Следовательно, все время до возврата луча заряды, которые после его прихода остались на данном участке мишени, будут постепенно, проходя через слой фотопроводника, переходить на расположенную под фотопроводником проводящую подложку Таким образом мишень разряжается Насколько сильной будет разрядка, зависит от сопротивления фотопроводника Значит, наиболее освещенные части мишени будут разряжаться больше, а самые темные — меньше

Когда луч вновь придет к рассматриваемому участку мишени, он произведет его дозарядку, но дозарядка будет для участков, имеющих различный потенциал (т е различно разрядившихся), неодинакова (рис 9,*б*, *в*) Более сильно разряженные участки будут и сильнее дозаряжаться При дозарядке, поскольку одноименные заряды отталкиваются, каждый осевший на мишени электрон выталкивает электрон из проводящей подложки, который затем уходит во внешнюю цепь Следовательно, сколько зарядов село на мишень, столь-

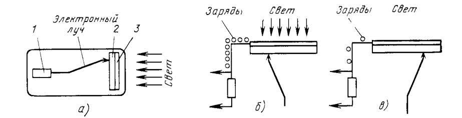


Рис 9 Видикон Общая схема устройства (*а*)

1 — прожектор 2 — фотопроводящий слой 3 — сигнальная пластина

Электронный луч на освещенном (б) и темном (в) участках мишени (кружочками показаны заряды, «вытолкнутые» из сигнальной пластины)

ко потечет во входной цепи усилителя. Значит, при дозарядке светлых и темных участков мишени на входе усилителя протекает различный электрический ток Таким образом мы достигаем желаемого — ток на входе усилителя соответствует распределению света в изображении, проецируемом на мишень видикона

Поскольку разрядка происходит в течение всего времени между моментами, когда данный участок дозаряжается, то действие света накапливается, т е трубка действительно работает в режиме накопления

Какой же фотопроводник годится для использования в видиконах? Разберем этот вопрос на двух примерах, предположив, что свет уменьшает сопротивление фотопроводника, например, в 10 раз. Допустим, что мы взяли фотопроводники с очень малой проводимостью (рис 10). В этом случае даже освещенный фотопроводник имеет малую проводимость Во время разрядки (т. е накопления действия света) и темные, и светлые участки мишени разрядятся слабо Ток подзарядки, разность токов, заряжающих светлые и темные участки, будут малы. Небольшой будет и сигнал. Другой пример — использование материалов с высокой проводимостью При этом за время накопления и темный, и светлый участки мишени разрядятся полностью. Заряжающий мишень луч будет проходить по поверхности, имеющей одинаковый потенциал, и все участки дозаряжать одинаково. Следовательно, при этом не возникает электрический сигнал, отражающий распределение света по поверхности мишени

Таким образом, фотопроводники, которые позволяют создавать чувствительную трубку, должны иметь определенное сопротивление Только при строгом соблюдении этого условия можно создать видиконы. Например, оказалось, что ряд фотопроводников, обладающих очень высокой чувствительностью, применить в видиконах не удается, так как сопротивление их слишком мало

Вернемся к устройству видикона. Его мишень выполняет много различных функций, и, следовательно, она должна обладать многими различными свойствами. Действительно, мишень видикона должна обеспечивать эффективное преобразование света в электрические заряды, т. е обладать высокой фотопрово-

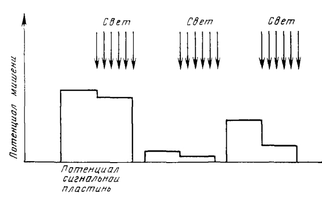


Рис. 10. Потенциалы на освещенных и темных участках мишени перед приходом электронного луча при очень высоком (слева), низком (в центре) и оптимальном (справа) сопротивлениях фотопроводника

димостью. К тому же предъявляются определенные требования к сопротивлению применяемого материала. Подзарядка мишени, величина которой связана с числом электронов, выбитых из мишени, и числом отраженных первичных электронов, зависит от потенциала на поверхности мишени, обращенной к лучу Эта зависимость должна иметь определенный вид, чтобы разница в разрядке мишени давала достаточно большую разницу в ее подзарядке Чтобы фотоэффект был значительным, в мишени, при небольшой толщине, должно быть существенное поглощение света, при этом свет не должен рассеиваться, тогда изображение будет четким Таким образом, в видиконе по сути происходит возврат к исходному рубежу, с которого началось развитие трубок с накоплением, основанных на внешнем фотоэффекте Так же, как и в иконосконе, его мишень выполняет много функций Однако при внутреннем фотоэффекте нет вылетающих из вещества электронов и, следовательно, разделение фотокатода и мишени, сделанное в трубках с внешним фотоэффектом, оказывается затруднительным. Фототоки же при внутреннем фотоэффекте больше Поэтому оказывается возможным создать трубку, работающую менее эффективно, но зато очень простую по устройству При передаче изображения с помощью суперортикона надо, регулируя режим, настраивать работу секции переноса электронов от фотокатода на мишень, добиваться наилучших условий работы для обеих сторон мишени, наилучшего осуществления процесса считывания лучом потенциального рельефа с мишени и, наконец, оптимальных условий на вторично-электронном умножителе В видиконе же таких узлов, как секция переноса и вторично электронный умножитель, вообще нет Поэтому настройка трубки значительно проще Благодаря большим фототокам в сочетании с работой по принципу накопления трубка остается достаточно чувствительной для многих практических целей Таким образом, новый тип созданных после суперортиконов приборов — видиконы — отличается от суперортиконов меньшей чувствительностью и большей инерционностью, но при этом обладает необычайной простотой устройства, малыми габаритными размерами, дешевизной Это обстоятельство сделало переворот в телевидении, так как именно с появлением видиконов рядом с телевизионным вещанием стало бурно развиваться прикладное телевидение Далее мы кратко расскажем о прикладном телевидении и соответственно о некоторых применениях видиконов

Как видиконы служат человеку? Иногда телевидение представляют себе только как телевизионный приемник, на экране которого смотрят программу «Время», кинофильмы, хоккей, фигурное катание и много других интересных передач. Однако такое представление совершенно неверное Телевидение используется буквально везде: на заводе и в клинике, в институте и на киностудии, на море и на суше, в воздухе и в космосе Иногда это напоминает наши обычные телевизионные передачи Так, при установке телевизионных камер на заводе или железнодорожной станции появляется возможность видеть все, что делается на любом участке цеха или железнодорожных путях Оператор, который увидел обстановку своими глазами, примет более быстрое и правильное решение о дальнейшей организации работы в цехе или на железной дороге. Благодаря телевизионным камерам один человек, подавая команды механизмам, может управлять огромной домной, прокатным станом, длина которого почти километр и т п Это все так называемое диспетчерское телевидение На боль-

шом производстве подобных камер может быть сотни Только появление видикона, позволившего сделать телевизионные камеры небольшими, простыми и удобными в эксплуатации, не требующими для их обслуживания специалистов высокой квалификации, какие могут быть только на телевизионных студиях, дало возможность широко применить диспетчерское телевидение Добавим, что изображение, создаваемое первой трубкой с накоплением, имело дефекты, вид которых изменялся с изменением передаваемого сюжета Поэтому на телецентре был оператор, который непрерывно регулировал сигналы от генератора, компенсирующие указанные дефекты Видикон может работать сотни часов без вмешательства человека Телевидение, напоминающее диспетчерское, нужно и на большом корабле Там много отсеков, где длительное время не бывает людей. Но, имея телевизионную камеру, всегда можно проверить, в каком они состоянии, не возникло ли каких-либо аварийных условий Телевизионная камера, вынесенная за борт, позволяет видеть с капитанского мостика, что делается вблизи корабля, помогая маневрировать в порту, видеть упавшие за борт предметы, наблюдать за тралом, если это рыболовный траулер, и т д. Если телевизионную камеру погрузить в воду, то не только водолаз, но и люди, находящиеся на борту корабля, будут видеть обстановку под водой В ряде случаев это позволяет обойтись без водолаза, если он должен спускаться только для того, чтобы проверить состояние каких-либо устройств

Передачи из космоса ведутся главным образом с помощью видиконов Легкую и потребляющую мало энергии видиконную камеру наиболее удобно космонавтам взять с собой в космический корабль Передачи, которые видели мы из космического корабля и открытого космоса, производились с помощью видиконов Они установлены на метеорологических спутниках, облетающих Землю и передающих картину распределения облачности над всей Землей, что помогает составлению прогнозов погоды Видикон прокладывал путь луноходу, передавая экипажу, находящемуся на Земле, изображения участка местности на Луне, расположенного перед луноходом.

В местах, где химически активные или взрывоопасные вещества или двигающиеся части станков создают угрозу человеку, помещают видикон, а человек следит за процессами, находясь на безопасном расстоянии Таких примеров множество

Наше вещательное телевидение, с которого мы начали рассказ, тоже не обходится без видиконов Передачи, которые ведутся из мало освещенных помещений, осуществляются с помощью суперортиконов, но демонстрация кинофильма, где ленту можно просвечивать ярким светом, производится с помощью видиконов

Однако существует телевидение и без картинки Представим себе, например, металлургический цех По прокатному стану с большой скоростью движется огненная полоса горячего металла Ширину ее необходимо непрерывно контролировать. Если контроль произведен несвоевременно, то часть материала (с отступлением от нормы) идет в брак Как контролировать раскаленный металл? На него направляют фотопроводящую мишень видикона В тех частях мишени, на которые не попадает изображение полосы раскаленного металла, ток через мишень мал, а на участке, куда проецируется раскаленный металл, ток значительно больше. Следовательно, при переходе от первого участка ко второму ток

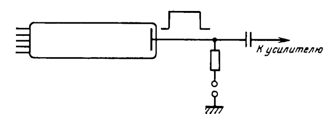


Рис 11 Импульс тока от светящейся полосы металла во внешнеи цепи видикона

резко возрастает, а когда электронный луч покидает участок, соответствующий раскаленной полосе, ток во внешней цепи падает (рис. 11). С помощью специальной радиотехнической схемы определяется время между резким увеличением тока и его спадом, т. е. длительность импульса Если ширина нагретой полосы металла постоянна, то и этот промежуток времени тоже постоянен Если же временно́й промежуток изменяется, то видикон может подать сигнал устройству, управляющему работой прокатного стана, так изменить режим работы, чтобы металлическая лента стала снова требуемой ширины Аналогично будет действовать и видикон, являющийся глазом робота.

Другой пример весьма важного применения телевидения в медицине При анализе крови необходимо подсчитывать количество различных частиц, входящих в ее состав Тысячи людей заняты тем, что, глядя в окуляр микроскопа, производят эту утомительную работу. К тому же для некоторых анализов необходимо подсчитать частицы, которые могут встречаться крайне редко, и такой анализ практически произвести невозможно Но на том же принципе, как определялась ширина ленты, может быть создано более сложное устройство, которое считает количество частиц в крови, причем считает по сортам, различая их, скажем, по размерам Анализ при этом будет сделан быстро и точно

Сейчас широкое использование электронно-вычислительных машин (ЭВМ) затрудняется малым количеством «переводчиков» Мы не можем машине сказать, как человеку сделай то-то. Нужно составить программу работы ЭВМ, перевести эту программу в определенный код, изобразить его с помощью различно расположенных дырочек на перфокарте, и только после этого управляемая перфокартой (или сигналами на магнитной ленте) ЭВМ начнет выполнять задание. Труд перевода нашей мысли на перфокарту часто занимает времени больше, чем это требуется для самого решения задачи машиной А если бы в ЭВМ просто вводить зрительные образы? Задача нашего общения с ней упростилась бы Так, например, если мы хотим, чтобы машина произвела подсчет, основываясь на каких-то экспериментальных измерениях, результаты которых вычертило перо самопишущего прибора, то можно этот график установить перед видиконом. Тот момент, когда ток видикона будет за небольшой период резко изменяться, очевидно, будет соответствовать моментам, когда электронный луч пересекает проецируемые на поверхность фотопроводящей мишени линии графика (рис. 12) Следовательно, в памяти машины сразу окажутся заложенными результаты нашего эксперимента.

Видиконы, установленные на спутнике, помогают уточнить карты земной поверхности, распределение растительности по земле, планктона в океане и т д.

Рис 12. Изменение тока через мишень видикона вдоль строки, когда на мишень проецируется график

Очень ценной эта помощь оказалась для геологов. Карту составляют топографической съемкой, осуществляемой на земле. Естественно, площадь съемки, произведенной за один раз, невелика Но можно сделать «лоскутное одеяло» — сшить кусочки вместе и получить карту большой поверхности Так и поступают Однако оказалось, что при взгляде из космоса удается найти такие особенности геологического строения поверхности Земли, которые на «лоскутном одеяле» плохо обнаруживаются Это помогает геологам в раскрытии кладов Земли — месторождений металлов, нефти и других полезных ископаемых.

Примеры можно продолжить, но мы пока на этом остановимся и обратим внимание читателя на следующее обстоятельство.

В конце рассказа, посвященного трубкам с внешним фотоэффектом, упоминалось, что создание совершенных передающих трубок стало возможным благодаря большим успехам в целом ряде областей науки и техники. То же самое справедливо и по отношению к видиконам. Но уже из приведенных примеров видно и то, что видиконы сами помогают прогрессу науки и техники Метеорология, геология, медицина, металлургия, исследование космоса и т д. получают от телевидения, оснащенного видиконами, неоценимую помощь Так различные области науки и техники взаимно обогащают друг друга

Борьба с инерционностью. Считать трубку, созданную П Веймером, С Форжем, Р Гудричем, действующей можно лишь условно Она хоть и была очень похожа на современный видикон, но из-за инерционности при получении сигнала практического применения не получила Инерционность генерирования сигнала присуща и современным трубкам Так, иногда на экране телевизора можно заметить, что за быстро движущимся конькобежцем или танцующей балериной остается след Это одно из проявлений инерционности Однако в современных трубках инерционность мала В видиконе, созданном американскими инженерами, инерционность была настолько велика, что практически исключалась передача движущихся предметов А это уже не телевидение, а фотография С чем же связана инерционность передающих трубок и, в частности, видикона?

Основных причин две Первая — инерционность внутреннего фотоэффекта Когда фотоны от источника света перестают попадать на фотопроводник, то в нем еще некоторое время существуют фотоэлектроны Следовательно, фототок протекает и тогда, когда источник света уже не излучает Это и есть одно из

проявлений инерционности фотоэффекта Сразу после появления света количество фотоэлектронов в веществе будет накапливаться и фототок, соответствующий длительному постоянному освещению, достигается не сразу. Это тоже одно из проявлений инерционности фотоэффекта.

Вторая причина инерционности сигнала видикона связана с перезарядкой его поверхности. Мы знаем, что все основные процессы в видиконе связаны с потенциальным рельефом, образующимся на его мишени. Если, например, освещение на мишени изменится так, что участок, ранее освещенный, станет темным, то соответственно должен перемениться и заряд этого участка мишени. Светлые участки разряжаются сильнее, и заряд на них меньше. Значит, чтобы участок стал заряженным, как темный, его нужно подзарядить. Откуда взять этот заряд? Его приносит с собой электронный луч. Но практически не удается сделать луч очень малого сечения (чтобы трубка передавала мелкие детали изображения) и с таким большим током, чтобы он мог за один раз перезарядить мишень — тока для такой перезарядки у луча не хватает. Это связано, в частности, с тем, что мишень видикона тонкая — единицы микрометров. Емкость тонкого слоя фотопроводника велика (т. е. на заданное изменение потенциала поверхности необходим большой заряд). Таким образом, возможно, что фотоэлектроны, созданные светом, в фотопроводнике уже исчезли, но потенциал мишени в данном участке еще не стал таким, каким он был на участке мишени, все время находящемся в темноте, ибо электронный луч не успевает перезарядить мишень

Очевидно, уменьшить инерционность трубки можно, уменьшив емкость мишени Для этого напыление фотопроводника стали проводить в атмосфере химически инертного газа. При напылении в высоком вакууме фотопроводник испаряется отдельными молекулами, которые летят по прямым траекториям на сигнальную пластину и там образуют плотный слой (рис. 13). При напылении в инертном газе вылетевшие молекулы фотопроводника сталкиваются с молекулами газа и меняют направление своего полета. Движение их становится зигзагообразным (как в классических опытах по броуновскому движению частиц в жидкости). Путь к мишени удлиняется во много раз. При таком движении

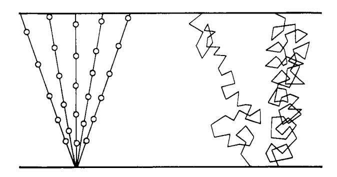


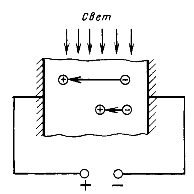
Рис 13 Траектории движения частиц при испарении в вакууме (слева) и газе (справа)

большая вероятность встречи молекул фотопроводника между собой еще до мишени. При этом две молекулы фотопроводника могут соединиться, затем образовавшаяся группа может соединиться с другой аналогичной группой, и постепенно вырастает комочек фотопроводника. Комочек этот оказывается очень пористым. Так как поры занимают часть объема, емкость мишени уменьшается. Действительно, мишени, напыленные в инертном газе, быстрее перезаряжаются электронным лучом и инерционность таких видиконов уменьшается. Причем оказалось, что уменьшается и инерционность фотоэффекта. Последнее объясняется следующим. На поверхности фотопроводника уничтожение электронов фотопроводимости идет более быстро. Пористость же слоя означает увеличение его поверхности, поскольку поверхность теперь — это не две граничные плоскости, а поверхность всех пор объема. Из-за увеличения поверхности и уменьшилась инерционность фотоэффекта. Таким образом, только применив технологию напыления фотопроводника в инертном газе, удалось создать видиконы, получившие практическое применение. Правда, чувствительность этих видиконов ниже, чем видиконов с мишенью, напыленной в вакууме

Инерционность или чувствительность. В работах по созданию видиконов было испробовано много различных вариантов технологии напыления мишени. Были синтезированы десятки фотопроводников, имеющих нужное удельное сопротивление. При этом неоднократно обнаруживалось, что изменения мишени, повышающие ее чувствительность, повышают и инерционность, и наоборот, изменения, понижающие инерционность, снижают и чувствительность.

То, что связь между чувствительностью и инерционностью в фотопроводниках следует из основных физических законов, показал американский исследователь А. Роуз Оказалось, что для фотопроводников, обладающих различной структурой, связь эта различная, поэтому были несколько противоречивы и трудно поддавались объяснению экспериментальные данные.

Как же связаны инерционность и чувствительность? Характер связи инерционности с чувствительностью рассмотрим исходя из простейших соображений. При внешнем фотоэффекте чувствительность определяется числом электронов, освобожденных из фотокатода некоторым числом квантов света. В фотопроводнике оценка чувствительности сложнее. Предположим, что квант света, поглощенный фотопроводником, сделает свободным внутри него один электрон, ранее связанный с определенным атомом. Одновременно появляется и дырка. Однако для простоты примем, что свет создал только свободный электрон, так как все сказанное ниже в равной мере относится к дыркам Под действием электрического поля этот электрон начнет перемещаться, создавая электрический ток. Свободный электрон существует не вечно — через некоторое время он может быть «захваченным» каким-либо атомом, у которого не хватает электрона, т е. начнет описывать орбиты вокруг этого атома и перестанет быть свободным электроном. (Этот процесс в физике полупроводников, названный рекомбинацией, происходит, когда электрон встречается с дыркой) Свободный электрон, созданный светом, может пройти в фотопроводнике от момента создания до рекомбинации как большое, так и малое расстояние (рис. 14). Допустим, электрон рекомбинировал так быстро, что под действием поля практически не успел сдвинуться с места Естественно, что в этом случае он электрического тока через полупроводник не создал. Ясно, что чем больший путь проходит элек-



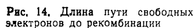


Рис. 14. Длина пути свободных электронов до рекомбинации

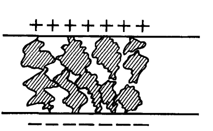


Рис 15 Строение пористой мишени видикона

трон с момента создания его светом до того момента, когда он перестает быть свободным, тем больший заряд пройдет через фотопроводник Таким образом, чувствительность внутреннего фотоэффекта, в отличие от внешнего, зависит не только от того, сколько свободных электронов приходится на данное количество поглощенных квантов света, но также и от того, какой путь эти электроны проходят в фотопроводнике после того, как они были созданы. Если на фотопроводник перестал попадать свет, то некоторое время в его объеме продолжают движение фотоэлектроны, созданные ранее Очевидно, когда путь, проходимый электроном до рекомбинации, больше, то более длительное время после того, как свет перестал падать на фотопроводник, будет наблюдаться фототок. А отсюда естественная связь, о которой говорили ранее чем больше инерционность, тем больше чувствительность.

Как же преодолеть этот заколдованный круг? Очевидно, выход заключается в том, чтобы заставить электроны проходить большой путь, однако проходить его за короткое время. Тогда чувствительность фотопроводника будет велика, а инерционность останется небольшой Но прохождение большого пути за малый отрезок времени означает, что электроны в данном веществе движутся относительно быстро, увеличивая проводимость вещества. Таким образом, высокая чувствительность фотопроводника может быть при небольшой инерционности внутреннего фотоэффекта только в случае, если фотопроводники имеют малое сопротивление. Это новое препятствие — ведь низкоомные фотопроводники не годятся для мишеней видиконов

Значит, задачей техники стало создание такой конструкции мишени видиконов, в которой при малом удельном сопротивлении вещества мишени выполнялся бы принцип накопления, для чего необходима достаточно медленная разрядка мишени.

Ранее, когда мы говорили о времени разрядки какого-либо участка мишени, то имели в виду, что оно определяется удельным сопротивлением вещества. Низкоомные материалы могут быть использованы только в том случае, если сопротивление участка мишени не будет строго определяться удельным сопротивлением вещества Можно ли этого достичь? Можно Один из способов уже

рассматривался. Это — напыление фотопроводящей мишени в атмосфере инертного газа. Как упоминалось, при этом фотопроводящий слой получается не сплошным, а состоящим из отдельных комочков сложной формы. На сопротивление любого участка мишени огромное влияние оказывает площадь контакта между отдельными комочками (рис 15). Если эта площадь мала, то, естественно, сопротивление мишени может увеличиться и уже не будет определяться удельным сопротивлением самого вещества Однако, чтобы резко повысить сопротивление мишени, площадь контакта между отдельными комочками должна быть очень небольшой, т. е. отдельные комочки должны соприкасаться тонenькими отростками в виде иголочек. Но мишень заряжена На одной ее поверхности, обращенной к прожектору, находится заряд электронов, которые доставил электронный луч На другой поверхности фотопроводящего слоя находится заряд сигнальной пластины, соединенной с внешней цепью Разноименные заряды на двух поверхностях слоя притягиваются, сдавливая его Если иголочки, которыми отдельные комочки контактируют между собой, будут очень тонкими, они разрушатся. Поэтому метод напыления в инертной среде сильно сдвигает ту границу по удельному сопротивлению фотопроводников, которая определяется принципом накопления Известно, что сопротивление полупроводника сильно зависит от того, с каким металлом или полупроводником находится он в контакте. Большинство полупроводниковых приборов создано с использованием контактных явлений Сопротивление цепи, составленной из двух фотопроводников, также зависит от свойств каждого фотопроводника Можно подобрать два таких низкоомных фотопроводника, которые, включенные последовательно, имеют сопротивление, не равное сумме сопротивлений каждого из них, взятых отдельно, а несравненно большее Это дает возможность использовать в видиконах низкоомные фотопроводники

Кремниконы и кадмиконы. Пример сказанному — использование кремния — вещества, находящего широкое применение в целом ряде полупроводниковых приборов. Чистый кремний низкоомен, имеет электронную проводимость, т е. электрический ток в нем переносят в основном свободные электроны Но если добавить в чистый кремний незначительное количество некоторых химических веществ (например, бора), то проводимость кремния становится дырочной, т. е. основную роль в его электропроводности играют уже не свободные электроны, а электроны, связанные со своими атомами, но имеющие возможность менять «хозяина», перескакивать с атома на атом, если в соседнем атоме не хватает одного электрона Благодаря способности полупроводников менять свои свойства при незначительных добавках примесей они получили широкое применение в технике

Один и тот же полупроводник, но обработанный так, что одна часть его имеет электронную, а другая дырочную проводимости, является парой, суммарное сопротивление которой может намного превышать сопротивление каждой части Если образцы с электронной и дырочной проводимостями соединить вместе и подать на сторону с электронной проводимостью положительное постоянное напряжение, а на сторону с дырочной проводимостью отрицательное, то электроны и дырки притянутся к краям образца (рис. 16) Хотя каждый из образцов содержит большое число либо дырок, либо свободных электронов, в месте их соединения окажется пространство, почти лишенное частиц, способных

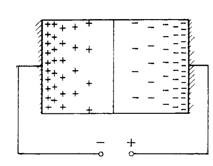


Рис 16 Распределение свободных электронов и дырок в соединенных р- и n-полупроводниках при подключении к ним источника напряжения

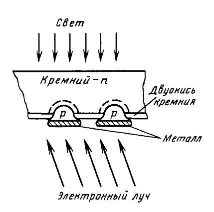


Рис. 17 Участок мишени кремникона Части поверхности, которые не должны заряжаться электронным лучом, защищены благодаря специальной форме р-участков (штриховой линией показана область, обедненная свободными зарядами)

переносить ток Если при последовательном соединении нескольких сопротивлений (так можно рассматривать отдельные прослойки мишени) одно из сопротивлений велико, то велико будет сопротивление всей цепи. Из-за контактной зоны, являющейся практически изолятором, сопротивление всего образца станет высоким. Таким образом, сопротивление кремниевой пластинки с электронной проводимостью, одна поверхность которой обработана бором, оказывается достаточно высоким, чтобы ее использовать как сопротивление для мишени видикона Интересно, что исходное удельное сопротивление самого кремния примерно 1 Ом/см, в то время как для необходимого сопротивления разрядки мишени фотопроводник должен иметь удельное сопротивление примерно 10^{12} Ом/см. Таким образом, благодаря созданию контакта р и n-зон (р-зоной называется область с дырочной, а n — с электронной проводимостью), сопротивление кремния повышается примерно в триллион раз

Однако такая обработанная бором пластинка еще не мишень видикона Высокое сопротивление всей пластинки обусловлено сложной структурой возникшего «пирожка», т. е тем, что между р- и n-зоной возникает слой повышенного сопротивления (пространство, лишенное свободных зарядов, о котором мы говорили). Но это высокое сопротивление только для разрядки поперек слоя. Потенциальный же рельеф на поверхности такой мишени создать нельзя. На поверхности в зонах р и n много подвижных зарядов, электрическое сопротивление каждой зоны мало и заряды, первоначально оказавшиеся на одном из участков мишени, будут растекаться по всей ее поверхности Поэтому, чтобы создать мишень видикона, надо было на кремниевой пластинке размером около 1 см² создать полмиллиона — миллион отдельных р-структур, т. е. единую р-зону следовало разгородить узкими изолирующими коридорчиками без свободных

зарядов. (Цифра «полмиллиона» нам уже встречалась — таково необходимое количество элементов для получения изображения хорошего качества). При этом надо избежать скоплений заряда из луча на изолирующих коридорчиках. Один из способов для этого — сделать в мишени p-область в виде «грибочка». В основной материал кремния она входит своей ножкой Шляпки же отдельных «грибков» близко подходят друг к другу и создают практически сплошную поверхность лишь с небольшими зазорами, благодаря которым не происходит замыкания участков Шляпки «грибков» надежно закрывают промежутки между структурами от попадания зарядов Современной технике создание такой мишени оказалось под силу Видикон с мишенью из кремния получил название кремникон (рис. 17)

Кремний очень чувствительный фотопроводник, и фотоэффект в нем малоинерционен, так как длительность существования фотоэлектронов слишком мала Тонкий зазор между p- и n-зонами эти фотоэлектроны преодолевают за короткое время, и фотоинерционности в такой структуре, так же как и в чистом кремнии, не возникает

Таким образом, в кремниконах удалось добиться малой инерционности и чувствительности в несколько раз большей, чем у самых лучших видиконов с мишенью из высокоомных материалов

Очень чувствительную и малоинерционную мишень видикона, используя p-n переход, удалось создать и на других низкоомных фотопроводниках, в частности на очень чувствительном селениде кадмия (соответственно трубка называется кадмикон) При этом p-слой такой мишени имеет сопротивление достаточно высокое, чтобы на мишени можно было не делать мозаичную структуру. Такая мишень много проще Кремниконы и кадмиконы по чувствительности и инерционности не уступают суперортиконам Значит ли это, что видиконы с p-n переходом вытеснили суперортиконы, а также видиконы, у которых мишень использует объемные, а не контактные свойства фотопроводников Оказывается, нет

Высокая чувствительность мишеней с p-n переходом связана с тем, что все созданные светом фотоэлектроны и дырки проходят мишень насквозь, не рекомбинируя А в мишенях, использующих объемные свойства фотопроводников, часть фотоэлектронов и дырок рекомбинирует Поэтому путь, проходимый ими в мишени, короче Но увеличивая силу электрического поля в мишени, можно удлинить путь, проходимый без рекомбинации, а значит, увеличить чувствительность мишеней. Поэтому, изменяя напряжение на сигнальной пластине, можно очень просто регулировать чувствительность таких видиконов А это бывает необходимо при сильных изменениях освещенности, температуры окружающей среды и во многих других случаях Поэтому в соответствии с особенностями применения используются видиконы той или другой группы.

О тех применениях суперортиконов, в которых их не могут заменить видиконы, будет рассказано в следующей главе.

За пределами видимого. Как известно, свет — это электромагнитное излучение в определенном диапазоне длин волн. Электромагнитное излучение с длинами волн вне этого диапазона человеческий глаз не воспринимает как свет: более коротковолновое включает ультрафиолетовые, рентгеновские и γ-лучи, более длинноволновое — инфракрасное излучение. Передающие трубки позволя-

ют видеть изображение в невидимых лучах всех диапазонов Если есть фотокатод или фотопроводник, в котором ультрафиолетовый свет или рентгеновские лучи вызывают фотоэффект (внешний или внутренний), то работа передающей трубки для такого излучения ничем не будет отличаться от работы трубки под действием видимого света Ведь после того, как создан фототок, преобразование его в видеосигнал происходит во всех случаях одинаково

Трубки, «видящие» в ультрафиолетовом свете, оказались очень полезными для биологов Многие ткани живых организмов в видимом свете кажутся однородными, но в ультрафиолетовых лучах видно, что они имеют сложную структуру. Таким образом, трубки, чувствительные к ультрафиолетовому излучению, позволяют разобраться в строении живых организмов. К тому же благодаря высокой чувствительности трубок поток ультрафиолетовых лучей может быть незначителен, для того чтобы он не разрушал рассматриваемые живые ткани. Со всех концов Вселенной идут к нашей Земле потоки ультрафиолетового, рентгеновского излучений Поэтому очень ценные сведения, необходимые для изучения процессов, протекающих во Вселенной, получают астрономы, используя трубки, чувствительные к коротковолновому излучению

Рентгеновские лучи помогают видеть невидимые дефекты в машине и человеке, как расположены атомы в веществе Просвечивание в рентгеновских лучах при наблюдении с помощью телевизионной трубки удобно тем, что не нужна фотопленка Можно, например, в процессе работы сварочных автоматов непрерывно контролировать качество получаемых швов. Обнаружение дефектов в деталях, свариваемых швах имеет большое значение для техники А по сравнению с просвечиванием, при котором наблюдение ведется на флюоресцирующем экране, выигрыш в том, что картинку можно видеть в светлом помещении

Изображение в видимом свете с помощью системы линз можно увеличивать и уменьшать Для рентгеновских лучей подобных линз практически не существует Телевизионная трубка позволяет сделать рентгеновский микроскоп Действительно, пусть необходимо рассмотреть дефекты в мелких деталях, например внутри небольшого полупроводникового прибора, заключенного в металлическую оболочку. Просвечивая прибор потоком параллельных рентгеновских лучей, на мишени видикона мы получаем проекцию, равную самому прибору А передается это изображение на большой экран телевизора. Поэтому небольшой прибор, просвечиваемый рентгеновскими лучами, может быть виден сильно увеличенным.

В современной технике часто необходимо контролировать размеры мелких деталей или расстояния между ними. Это с успехом делает телевизионный автомат, глазами которого является видикон. Но изображение деталей, настолько мелких, что размер их уже сопоставим с длиной волны света, по законам оптики получается размытым, нечетким. Следовательно, очень мелкие детали нужно контролировать в ультрафиолетовых или рентгеновских лучах, длина волны которых меньше длины волны видимого света. Это еще одно «поле деятельности» видиконов.

Создание трубок для длинноволнового невидимого излучения — задача особенно сложная Дело в том, что мельчайшие элементарные частички света — фотоны — взаимодействуют с электронами индивидуально, т. е. каждый фотон взаи-

модействует с одним электроном, и если энергия фотона недостаточна для того, чтобы электрон сделать свободным, то фотоэффект не возникает Чем больше длина волны, тем меньше энергия одного фотона. Поэтому можно направить на фотопроводник или фотокатод большие потоки длинноволнового излучения, общая мощность которого очень велика Однако электроны освобождаться не будут. Энергия фотонов слишком мала, а несколько фотонов одновременно взаимодействовать с одним электроном не могут.

В последние годы появилась идея, как «бороться» с этим следствием законов физики при внешнем фотоэффекте Если к твердому телу приложить очень сильное электрическое поле, такое, чтобы падение напряжения составляло более 10^6 В/см, то электроны могут быть вырваны из него Поэтому, если приложить электрическое поле почти такое сильное, но все же чуть-чуть слабее, то при этих условиях энергии фотона длинноволнового излучения может оказаться достаточно, чтобы вырвать электрон из твердого тела. Пока передающие трубки, основанные на таком принципе, еще не разработаны.

Создавать трубки для длинноволнового излучения легче, используя внутренний, а не внешний фотоэффект Действительно, если энергия фотона мала, то больше вероятность того, что ее хватит лишь для освобождения электронов от жесткой связи с атомами внутри твердого тела и не хватит для того, чтобы совсем вырвать электрон из твердого тела.

Однако при создании видиконов для длинноволнового излучения есть принципиальные трудности. Связанные электроны, как и все частицы, входящие в твердое тело, участвуют в беспорядочном тепловом движении При этом некоторые имеют малые тепловые скорости и их движение у атомов очень упорядоченное (для наглядности его уподобляют движению планет вокруг Солнца). Для других же электронов тепловые скорости могут быть очень велики, и они время от времени отрываются от своего атома, перестают быть связанными и могут начать проводить электрический ток В каких полупроводниках может существовать внутренний фотоэффект, чувствительный к длинноволному излучению? Естественно, это фотопроводники, в которых связь электронов с атомами несильная. Только в таком случае фотоны длинноволнового излучения с малой энергией могут сделать электроны свободными. Но если связь электронов со своими атомами слабая, то заметная часть электронов будет переходить в свободные за счет энергии теплового движения Поэтому в таких полупроводниках много электронов, проводящих электрический ток Следовательно, сопротивление этих полупроводников мало для использования в качестве мишени видикона. А с этой трудностью мы уже встречались (ранее рассказывалось, что из закономерностей внутреннего фотоэффекта следовал вывод о том, что высокая чувствительность и малая инерционность фотоэффекта достижимы только в низкоомных полупроводниках и это мешает созданию трубок с накоплением).

Как и для видимого света, для инфракрасного излучения были придуманы специальные способы создания мишеней. Причем, используя фотопроводники с малым удельным сопротивлением, можно получать достаточно медленную разрядку мишени, с тем чтобы действовал принцип накопления Вот один из таких способов.

В газовой атмосфере распыляется окись свинца, в результате чего создается мишень, состоящая из отдельных шаровидных комочков окиси свинца (рис.



Рис. 18. Участок мишени видикона, чувствительного к длинноволновому излучению, состоящей из шариков окиси свинца (зачернены) и оболочки из сульфида свинца

18). Окись свинца — достаточно высокоомный материал, и, следовательно, достаточно высокоомным получается сопротивление мишени. К длинноволновому излучению она нечувствительна. Существует химически родственное вещество — сульфид свинца, который издавна применяется в технике как приемник, чувствительный к инфракрасному излучению Напыленная мишень обрабатывается в парах сероводорода. При этом на поверхности шариков окиси свинца создается тонкая пленка сульфида свинца После такой обработки мишень остается достаточно высокоомной, так как по-прежнему она в основном состоит из высокоомной окиси свинца Однако при воздействии длинноволнового излучения уменьшается сопротивление пленок на отдельных комочках, вследствие чего падает сопротивление всей мишени и трубка может давать сигнал.

Наибольшие успехи при создании трубок для длинноволнового излучения были достигнуты при использовании контактных явлений. Мишень такого рода устроена так же, как у кремникона, — это мозаичная мишень, состоящая из большого количества отдельных p-n переходов. Если же и этих мер мало, используется холод. Ведь мишени мешает работать так, как надо, ее малое сопротивление, обусловленное тепловым движением электронов. Чтобы охладить фотопроводник, вблизи мишени располагается холодильник. Таким холодильником может быть дьюар — специальный сосуд (вроде термоса), обладающий хорошими теплоизоляционными свойствами. В дьюар заливается жидкий азот, и сопротивление мишени значительно повышается Для полупроводников изменение температуры может изменить сопротивление электрическому току в миллионы раз. Поэтому полупроводник, у которого связь между электронами и атомами слабая, может иметь при охлаждении достаточно высокое сопротивление.

В приборах с охлаждаемой мишенью значительное изменение претерпевает вся их конструкция. Например, электронный луч в них создается, как в большинстве вакуумных приборов, нагретым катодом. Охлаждая мишень жидким азотом, естественно, нельзя допустить, чтобы она одновременно нагревалась от излучения термокатода. Для обычных приборов излучение термокатода, которое проходит через небольшое отверстие в прожекторе, не играет никакой роли. Но в данном случае приходится принимать специальные меры. Делать, например, путь электронов от прожектора к мишени изогнутым, с тем чтобы отверстие в прожекторе не было направлено в сторону мишени

Возможность видеть в длинноволновом инфракрасном излучении оказывается очень нужной в целом ряде случаев. Одно из применений — ночное наблюдение. Например, если больничная палата облучается инфракрасным светом, то телевизионная трубка дает возможность дежурной сестре наблюдать за больными в темноте

Все более важное значение приобретает изучение нашей планеты со спутников Наблюдение планеты в излучениях разного спектрального состава позволяет сделать значительно более разносторонние и глубокие выводы.

Рассеяние света в атмосфере всегда затрудняет наблюдения. С этой точки зрения все наблюдения в природных условиях, т. е. через атмосферу, более эффективны в инфракрасном свете. Длинноволновый свет меньше рассеивается в атмосфере, в тумане. Жители больших городов могли заметить, что в тумане вывески красных неоновых реклам всегда виднее. Именно поэтому на высоких трубах и домах сигнальные лампы, предупреждающие самолеты, делаются также красного цвета. Видиконы с инфракрасной чувствительностью делают возможным наблюдение в малорассеиваемом свете.

Глава 3

ПРИКЛАДНОЕ ТЕЛЕВИДЕНИЕ БЕЗ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ФОТОЭФФЕКТА И НАКОПЛЕНИЯ СВЕТОВОЙ ЭНЕРГИИ

Пириконы. Применение видиконов, чувствительных к инфракрасному излучению, возможно, когда ведется облучение инфракрасными лучами (см. примеры в гл. 2) либо когда рассматриваемые тела сами достаточно горячие. Однако в ряде случаев очень важно видеть, какое инфракрасное излучение испускают очень слабо нагретые тела (т. е. надо получать изображение от еще более длинноволнового излучения с еще меньшей энергией квантов). Первый пример — наше тело, имеющее температуру 36° С. Установлено, что при всяком воспалении область, вблизи которой расположен больной орган, имеет температуру, несколько превышающую температуру тела. Повышение может быть очень незначительным — десятые доли градуса. Такой чувствительности видиконы не достигают. Когда необходимые трубки будут созданы, достаточно будет взглянуть на телевизионное изображение человека в инфракрасном свете (т. е. на излучение, испускаемое им в полной темноте) и обнаружить очаг заболевания. В частности, так может быть обнаружен рак в ранней стадии. Изображение здания, переданное с помощью такого прибора, покажет наиболее теплые места на его поверхности, т. е. места с наихудшей тепловой изоляцией, через которые теряется тепло дома, что даст возможность строителям устранить недостатки теплоизоляции. Изображение работающей радио- или электроаппаратуры позволит обнаружить участки с наибольшим выделением тепла и исключить возможную порчу аппаратуры из-за местных перегревов.

Все технические решения, примененные в видиконах, оказываются недостаточными, чтобы создать трубку для очень длинноволнового излучения. В этом случае техническая стратегия меняется. Раньше с теплом всячески боролись, используя даже жидкий азот. Для очень длинноволнового излучения, фотоны которого не могут, индивидуально взаимодействуя с электроном, отрывать его от атома, нужно использовать само тепловое воздействие излучения. Участок мишени, на который попадает больше длинноволнового излучения, будет теплее. Этот эффект можно применить, употребив в качестве мишени не фотопроводник, а вещества с особым строением кристаллической решетки.

Молекулы вещества электрически нейтральны, так как равно количество входящих в них положительных и отрицательных зарядов Однако существу-

ют молекулы нейтральные, но в которых положительные заряды сдвинуты в одну, а отрицательные — в другую сторону молекулы. Слой из молекул такого вещества, если все они ориентированы одинаково, подобен заряженному слою, и одна поверхность его отличается потенциалом от другой (рис 19). Упомянутое смещение положительного заряда относительно отрицательного в слое некоторых из указанных веществ (триглицинсульфат, титанат бария) при изменении температуры резко меняется. Значит, при проецировании на мишень какого-либо изображения в длинноволновом свете на нагреваемой мишени образуется потенциальный рельеф. Проходя по мишени, электронный луч будет ее заряжать и выталкивать при этом электроны из сигнальной пластины во внешнюю цепь. Причем количество поступающих во внешнюю цепь электронов будет зависеть от того, насколько сильна поляризация в том участке мишени, который проходил луч в данный момент. Следовательно, трубка создает необходимый сигнал.

Однако и триглицинсульфат и титанат бария не полупроводники, а изоляторы Поэтому электроны, доставленные электронным лучом на поверхность мишени, с нее не уходят [1]. Поскольку одноименные заряды отталкиваются, накапливающийся на поверхности мишени заряд мешает электронам луча доходить до нее Следовательно, трубка может кратковременно давать сигнал, а затем работать перестанет. Предложено несколько способов устранения такого явления Вот один из них. Первый кадр мишени прочерчивается лучом, осаждающим на поверхности мишени электроны. Во втором кадре скорость электронов, образующих луч, значительно повышается Каждый быстрый электрон выбивает из мишени несколько вторичных электронов, покидающих ми-



Рис. 19. Участок мишени пирикона. В левой части участка поляризованные молекулы расположены одинаково; очевидно, в этой части поверхность мишени имеет потенциал, более положительный, чем сигнальная пластина

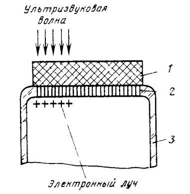


Рис. 20 Узел мишени прибора, чувствительного к ультразвуковому излучению (заряды, появившиеся внутри прибора в облучаемых участках, обозначены +):

1 — пластина из пьезоматериала, 2 — металлостеклянный диск; 3 — стеклянная оболочка

[1] Напомним, что в суперортиконе и в видиконе заряд с поверхности мишени стекал из-за проводимости мишени

шень. Значит, во втором кадре мишень получает положительный заряд, компенсирующий отрицательный, полученный в предыдущем кадре, и прибор может работать стабильно.

Такие трубки называют поляриконами или пириконами (от слова «поляризация» и от греческого «пирос» — огонь, поскольку речь идет о тепловом излучении). По конструкции они подобны видиконам, но с поляризуемой, а не с фотопроводящей мишенью

Видение с помощью ультразвука. Однако не только электромагнитное излучение можно сделать видимым с помощью передающих трубок. Широкое применение в технике нашла ультразвуковая дефектоскопия Сквозь деталь, которую хотят проверить, пропускают звуковые колебания очень высокой частоты (выше порога чувствительности человеческого уха, отсюда и приставка «ультра» к слову «звук»). Когда в детали есть дефект, то поток звуковых волн, прошедший сквозь рассматриваемый предмет, будет неоднородным. Если волны после прохождения предмета попадут на мишень передающей трубки, которая обладает пьезосвойствами, то волновой поток станет видимым. Напомним, что пьезоэффектом называются свойства некоторых твердых веществ (кварца, титаната бария) при механическом сжатии выделять на поверхности тела электрические заряды. Это свойство используется, например, в звукоснимателях электропроигрывателей. Чтобы заряды, выделяющиеся на поверхности пьезомишени, ввести внутрь стеклянного баллона вакуумного прибора, используются металлостеклянные диски (рис. 20). Эти диски представляют собой стекло, пронизанное огромным числом тонких металлических проволочек. Каждая проволочка имеет по всей длине одинаковый потенциал (как в том месте, где она касается пъезоматериала, так и внутри трубки). Когда на мишень трубки попадает звуковая волна, интенсивность которой в разных участках мишени неодинакова, внутри трубки создается потенциальный рельеф. Следовательно, при прочерчивании мишени электронным лучом образуется сигнал, такой же, как в других телевизионных трубках. (Только потенциальный рельеф на мишени создан с помощью пьезо-, а не фотоэффекта.) Это дает возможность на экране телевизора наблюдать распределение звуковых волн после прохождения ими испытуемого предмета и таким образом обнаруживать дефекты в деталях. Серийно пока такие трубки не выпускаются.

Диссектор. Развитие техники показало, что приборы для прикладного телевидения целесообразно создавать, используя и внешний фотоэффект. Таким прибором для прикладного телевидения, а особенно для телевизионной автоматики, явился диссектор. При описании устройства этого одного из самых современных передающих приборов читателя ждет некоторая неожиданность.

Как всякий вакуумный передающий прибор, диссектор имеет в своей оболочке входное окно — стеклянный диск, на внутренней поверхности которого прозрачный электрод, а поверх него фотокатод (рис. 21). Электроды вблизи фотокатода создают электрическое поле, помогающее фотоэлектронам уйти от катода и попасть на расположенный напротив него электрод с отверстием, за этим электродом находится вторично-электронный умножитель (такого же типа, как в суперортиконе). На часть прибора между фотокатодом и электродом с отверстием снаружи надета катушка, создающая магнитное поле, отклоняющее электронный поток. Если отклоняющее поле не включено, в отверстие

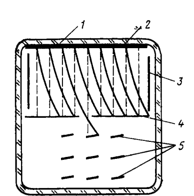


Рис. 21. Устройство диссектора

1 — входное окно, 2 — фотокатод, 3 — электроды, ускоряющие фотоэлектроны от фотокатода к электроду с отверстием, 4 — электрод с отверстием, 5 — электроды вторично-эмиссионного усилителя в виде жалюзи; с последнего из этих электродов ток попадает во внешнюю цепь. Штриховыми линиями, идущими от фотокатода, показаны пути фотоэлектронов, когда нет отклоняющего поля, сплошными — когда оно включено

попадет фототок с участка фотокатода, расположенного напротив него. Этот фототок усилится вторично-электронным умножителем и выйдет во внешнюю цепь уже много большего значения. Если же создать слабое отклоняющее поле, фототок в отверстие не попадет, так как путь электронов будет искривлен отклоняющим полем. В отверстие попадут электроны фотокатода с соседнего участка. При усилении отклоняющего поля в отверстие будут попадать электроны со все более далеко отстоящих от центра участков. А ток во внешней цепи прибора будет изменяться соответственно освещенности различных участков фотокатода, т. е. соответственно яркости отдельных участков проецируемого на него изображения. Следовательно, этот ток и есть сигнал, необходимый для передачи изображения.

Ознакомившись с устройством диссектора, легко заметить, что новейший прибор — это модернизированный диск П. Нипкова. Несмотря на то, что самого диска нет, все устройство электронное и усиление фотокатода происходит в самом приборе, не требуя отдельного усилителя. Но принцип тот же — последовательное выделение и использование фототоков с отдельных элементов фотокатода без накопления зарядов. А ведь ранее было установлено, что без накопления передающие приборы имеют низкую чувствительность. Только после создания приборов с накоплением появилось современное телевидение.

Прикладное телевидение решает разные задачи, и для этого нужны приборы с различными свойствами, в том числе для передачи простых изображений. Рассмотрим такой пример: надо создать телевизионный автомат для считывания индекса на почтовом конверте. На рис. 22 показан пример возможного простого изображения цифр, где видно, что для изображения одной цифры необходим прямоугольник из четырех элементов в длину и семи — в высоту. С учетом промежутков между цифрами — шести элементов в длину, восьми — в высоту, т. е. на одну цифру — 48 элементов. Почтовый индекс имеет шесть цифр, значит, на их передачу надо 288 элементов. (Заметим, что для того, чтобы автомат уверенно отличал друг от друга цифры с написанием более сложным, чем на рис. 22, каждая цифра должна быть разделена на 100

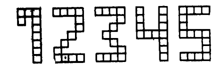


Рис. 22. Изображение цифр небольшим числом элементов

элементов). А при оценке чувствительности передающих приборов мы исходили из того, что высококачественное изображение требует 500 тыс. элементов. Значит, при передаче таких цифровых надписей фотокатод может быть разбит на элементы больше в 500 000/288, т е примерно в 1700 раз, чем при вещательных передачах. А при таком возрастании фототока шумы уже не страшны.

С другой стороны, не обязательно надо считывать надпись за 1/25 с, ведь такое время кадра выбрано для слитной передачи движущихся объектов. Предположим, что неподвижная надпись будет считываться, например, за 1/5 с — быстродействие для автомата во многих случаях достаточное. Если же время кадра по сравнению с вещанием увеличено в 5 раз и, следовательно, от каждого элемента изображения получено в 5 раз больше зарядов, то это еще одна причина уменьшения влияния шумов

И наконец, для прикладного телевидения чувствительность прибора не всегда является важным свойством. К примеру, яркое освещение маленькой цифровой надписи осуществляется легко, не требует большого расхода энергии. Более важными оказываются простота всего устройства, безотказность в работе и дешевизна

Хотя чувствительность диссектора мала, но изображение, создаваемое с помощью его сигналов, не искажается шумами. Это объясняется тем, что изображение либо имеет мало элементов, либо редко меняются кадры, либо объект ярко освещен, либо эти условия еще и объединяются

Преимущества диссектора — простота устройства и безотказность в эксплуатации, безынерционность, сигнал его всегда пропорционален падающему свету.

В заключение напрашивается вопрос· как получилось, что диссекторы, изобретенные еще в 20-х годах нашего века, считались (поскольку это приборы без накопления) абсолютно бесперспективными, однако с годами выпуск их и применение в телевизионной аппаратуре, начавшиеся примерно в 60-х годах, расширяются? Отвечая, можно напомнить, что подобные явления характерны и для других областей техники. На заре развития авиации шло соревнование между летательными аппаратами легче воздуха (воздушными шарами, дирижаблями) и самолетами. Казалось, победили последние Однако сейчас вновь создаются проекты дирижаблей. Ведь, чтобы доставить в необжитую тайгу тяжелый крупногабаритный груз, например буровую вышку, дирижаблю нужна лишь мачта для швартовки, самолету — аэродром Это важно, а то, что при доставке самолетом перелет будет продолжаться меньше на несколько часов, серьезного значения может не иметь Но такие задачи перед авиацией стали лишь тогда, когда перевозки по воздуху уже широко вошли в хозяйственную жизнь. Так и с диссектором Когда телевизионное вещание широко вошло в нашу жизнь, возникло и стало развиваться прикладное телевидение и потребовались приборы типа диссектора.

В прикладном телевидении (в основном — в космическом) находят применение и передающие устройства без накопления, с механической разверткой — потомки диска Нипкова. Так, в частности, при первой мягкой посадке на Луну в устройстве для передачи лунной поверхности использовалась вращающаяся зеркальная система, выполняющая задачу диска Нипкова в первых теле-

визионных системах Так как лунный ландшафт изменяется медленно и днем света на Луне много, то качество изображения было хорошим без использования принципа накопления.

Глава 4

ТЕЛЕВИДЕНИЕ НОЧЬЮ. СНОВА ВНЕШНИЙ ФОТОЭФФЕКТ

Какой эффект использовать? Суперортиконы и видиконы позволяют вести телевизионные передачи из обычных, т е не слишком ярко освещенных помещений, а также внестудийные передачи днем. А ведь и ночью летают самолеты и вертолеты, плывут теплоходы, но освещенность в это время суток очень мала. Значит, чтобы видеть ночью, нужны передающие телевизионные приборы более (примерно в 100 тыс. раз) чувствительные, чем суперортиконы и видиконы. На каком же фотоэффекте — внешнем или внутреннем — должны быть основаны такие приборы? Напомним читателю, что при внешнем фотоэффекте свет вырывает электроны из твердого тела, при внутреннем — под его действием электроны, связанные с определенным атомом твердого тела, получают возможность перемещаться в твердом теле, увеличивая тем самым проводимость.

В фотопроводниках свободные электроны создаются не только светом, но и тепловым движением. Поэтому если к фотопроводнику приложить напряжение, то и через неосвещенный образец идет ток, называемый темновым. Значение его, как и фототока, не строго постоянно. Когда освещенность фотопроводника достаточно велика, фототок много больше темнового. Но по мере того, как сила света уменьшается, падает фототок и уменьшается разница между фототоком и темновым током При очень малой освещенности фототок может стать много меньше темнового тока и меньше его шумов. Когда на передающий прибор спроецировано изображение с участками темными и очень слабо освещенными, через первые протекают темновые токи, через вторые — темновые токи и фототоки. Разница в токах, протекающих через первый и второй участки, не будет обнаруживаться, так как маленькая прибавка в виде фототока несущественна в больших шумах темнового тока. Следовательно, прибор, использующий внутренний фотоэффект, не может работать при малых освещенностях

Темновой ток с фотокатодов очень мал, так как энергия теплового движения недостаточна, чтобы эффективно вырывать электроны из фотокатода наружу Значит, мал шум темнового тока и он не мешает обнаруживать слабый фототок Поэтому, несмотря на меньшее значение фототоков при внешнем фотоэффекте, сверхчувствительные приборы для ночного телевидения должны создаваться на внешнем фотоэффекте

К этому следует добавить, что при уменьшении света уменьшающийся сигнал видикона будет «тонуть» и в шумах усилителя. Сигнал же суперортикона всегда может быть сделан значительно больше шумов усилителя, так как

он увеличивается вторично-эмиссионным усилителем (Заметим, что существуют и видиконы с внутренним вторично-эмиссионным усилителем) Следовательно, именно суперортикон (несмотря на меньший, чем в видиконах, фототок) является прообразом сверхчувствительного прибора для ночного телевидения.

«Суперортикон с очками». Аналогия передающих телевизонных трубок с человеческими глазами, использованная в названии этой книги, имеет весомое основание. Действительно, как видит человек? Глаза воспринимают световые лучи, исходящие от предметов окружающего нас мира, и превращают их в физиологические импульсы, способные передаваться по нервам к головному мозгу. Принимая импульсы, он строит из них зрительный образ внешнего мира. Передающая трубка воспринимает световые лучи, исходящие от предметов окружающего нас мира, и превращает их в электрические импульсы, способные передаваться по эфиру или кабелю. Приемник на экране кинескопа воссоздает ту картину внешнего мира, которая проецируется на передающую трубку.

Если же зрение ухудшается, то человек надевает очки. Но и возможности суперортикона, несмотря на его совершенство, тоже имеют ограничения. Нельзя ли и для него придумать очки, чтобы увидеть, что делается в туманную погоду или на рассвете, поздно вечером или ночью?

При уменьшении количества света, падающего от окружающих предметов на суперортикон, непостоянство самого света (шумы его) даже при довольно сильном уменьшении светового потока могут быть неопасными благодаря принципу накопления. Но количество зарядов на мишени оказывается при этом малым. А ведь в созданном прожектором луче число электронов во времени тоже непостоянно («флуктуирует»). При малой разнице в зарядах, накопленных отдельными участками мишени, количество электронов, отраженных от того или иного участка мишени, зависит не столько от потенциала этого участка, сколько от значения плотности тока в луче в данный момент. Изображение на кинескопе в этом случае представляет собой беспорядочно мелькающие точечные вспышки, среди которых может еле-еле виднеться та картинка, которая проецируется на суперортикон (Так же, как в случае сильного влияния шумов усилителя или шумов света, когда нет накопления) Трубка перестала видеть.

Такие распространенные дефекты зрения, как близорукость или дальнозоркость, означают ухудшение фокусирующего действия хрусталика глаза. Линзы очков ослабляют или усиливают фокусировку. Обычная оптика может сфокусировать изображение, увеличить или уменьшить его размер, но количество света, выходящего из оптической системы, не может быть больше количества входящего. Суперортиконные очки должны усилить свет. Такие очки были придуманы, и называется этот прибор — усилитель яркости или электронно-оптический преобразователь (ЭОП) Принцип действия ЭОП очень прост

На внутренней стороне оболочки прибора нанесен прозрачный электрод, а поверх него — фотокатод (рис. 23). На противоположном торце прибора также имеется прозрачный электрод. Но поверх него расположен слой люминофора, т. е. вещества, светящегося при ударах об него электронов и применяемого в связи с этим для экранов кинескопов. Между двумя электродами подается высокое напряжение. Под действием света, падающего на фотокатод, из него выходят электроны и, ускоряясь электрическим полем, создаваемым напряже-

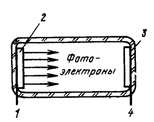


Рис. 23 Устройство ЭОП (жирными линиями показаны прозрачные проводящие поверхности, на которые подается ускоряющее фотоэлектроны напряжение):
1 — вывод от фотокатода, 2 — фотокатод, 3 — люминесцентный экран, 4 — вывод от экрана

нием на электродах, движутся к люминофору. Снаружи на прибор надевается катушка, создающая магнитное поле. Благодаря фокусирующему магнитному полю электроны из одной точки фотокатода собираются в определенную точку люминофора (так же, как в суперортиконе фотоэлектроны собираются на мишени) Под действием ударов электронов люминофор светится, причем тем ярче, чем больше попадает в данную точку электронов Следовательно, между проецируемым на вход световым изображением и свечением люминофора имеется строгое соответствие Благодаря же высокому напряжению, ускоряющему электроны, и, следовательно, большой силе их удара о люминофор светящееся изображение на люминофоре значительно ярче, чем изображение, проецируемое на фотокатод ЭОП Если же получаемое усиление все же недостаточно, можно поступать так, как делают с гальваническими элементами, — соединять их в батареи Действительно, если свет от изображения, полученного на люминофоре ЭОП, направить на фотокатод другого ЭОП, то изображение на втором ЭОП еще более усилится и на его люминесцентном экране картинка будет ярче всех предыдущих. Если же свет с экрана ЭОП направить на фотокатод суперортикона, то благодаря тому, что при этом световой поток увеличивается, суперортикон «прозревает». Увеличиваются заряды на мишени и именно величиной этих зарядов определяется число отраженных от мишени электронов, а флуктуации числа электронов в луче играют уже второстепенную роль. Надев «очки», суперортикон видит в темноте.

Электронно-оптические преобразователи используются не только в ночном телевидении В частности, ЭОП позволяют преобразовать изображение. Так, если у ЭОП фотокатод чувствителен к ультрафиолетовым или рентгеновским лучам, а люминофор испускает видимый свет, то можно, соединив с таким ЭОП обычный передающий прибор, наблюдать изображение в ультрафиолетовых или рентгеновских лучах.

Как надеть на суперортикон очки? Если к выходному окну ЭОП приложить фотопленку, то после проявления на пленке можно увидеть изображение, проецируемое на его вход. Однако изображение на пленке оказывается нечетким — контуры всех деталей размыты, а часть мелких объектов вообще неразличима. Почему же это происходит, если все электроны, выходящие из одной точки фотокатода, фокусируются в одну точку люминесцентного экрана? Дело в том, что каждая светящаяся точка люминофора испускает свет во все стороны Толщина выходного стекла в ЭОП 2...3 мм (меньше нельзя, так как с одной стороны — атмосфера, с другой — вакуум и давление воздуха разрушит окно). Поэтому на внешней стороне стекла микроскопическая светящаяся точка люминофора будет наблюдаться как имеющая размер в несколькс миллиметров (рис 24) Чтобы суперортикон, работая вместе с ЭОП,

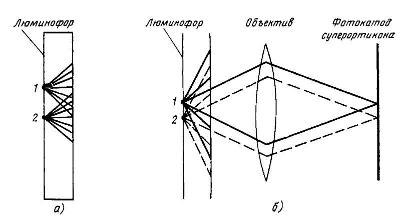


Рис. 24. Передача света от двух близких микроскопически малых участков люминофора на наружную поверхность торцевого стеклянного диска (*а*) и на фотокатод суперортикона с помощью дополнительного объектива (*б*)

позволял передавать мелкие детали, между ними ставят объектив Этот объектив настраивается так, что он собирает свет непосредственно от люминофора и фокусирует его прямо на фотокатод суперортикона (рис. 24). К сожалению, передающий прибор при этом получался очень громоздким. Длина прибора вместе с дополнительным объективом велика. А чтобы изображение не смазывалось, ЭОП, суперортикон и оба объектива надо закреплять жесткими, достаточно массивными деталями. Кроме того, второй объектив приводит к дополнительной потере света.

Чтобы этих недостатков избежать, делается единый вакуумный прибор (рис. 25) На рисунке левая часть прибора представляет собой ЭОП, правая — суперортикон Их разделяет очень тонкая стеклянная перегородка. Тонкой она может быть потому, что с обеих сторон ее — вакуум, и, значит, пленка не обязательно должна быть очень прочной. На одну сторону пленки нанесен люминофор, на другую — фотокатод. Так как пленка тонкая, свечение люминофора,

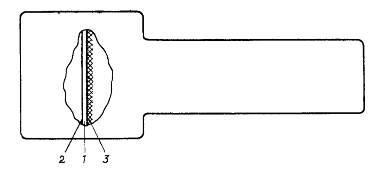


Рис. 25 Суперортикон с ЭОП (единый прибор):
1 — тонкая стеклянная пленка, 2 — слой люминофора ЭОП, 3 — катод суперортикона

не расплываясь, передается на фотокатод суперортикона. Изготовить такой прибор очень сложно. Поэтому, чтобы одеть на суперортикон очки, используется способ, основанный на применении волоконной оптики. Об этих элементах оптических систем мы и расскажем.

Как известно, если свет падает на зеркало, угол падения равен углу отражения. Этот закон действует всегда, когда свет, распространявшийся в одной среде, попадает на границу с другой средой Но при этом часть световой энергии проходит в другую среду Следовательно, есть лучи падающий, отраженный и проходящий границу. Какая часть световой энергии проходит через границу, зависит от оптических свойств сред и от того, под каким углом свет падает на границу. Чем угол падения меньше, тем больше энергия отражения и тем меньшая часть света проходит границу. Для двух определенных сред существует некоторый предельный угол. Если свет падает на границу с углом, меньшим предельного, то весь свет отражается. Это свойство света и используется при создании волоконно-оптических элементов.

Представим себе тонкую стеклянную нить, которая имеет еще более тонкую оболочку из другого стекла. Оптические свойства стекол подобраны таким образом, чтобы у этой пары предельный угол был как можно больше. Что произойдет, если на торец центральной нити попадает поток света, в котором нет лучей, составляющих с осью нити угол больше предельного? Лучи будут некоторое расстояние проходить внутри нити, а затем дойдут до ее границы с оболочкой. Здесь свет отразится и снова будет двигаться внутри нити (рис. 26). Достигнув стенки еще раз, он опять отразится Поскольку при каждом отражении энергия света полностью сохраняется, он может по такому стеклянному волокну, не ослабевая, распространяться далеко. Это свойство используется в технике для передачи световых сигналов на большие расстояния. Большое количество коротких нитей можно спрессовать в герметический диск (рис. 27), который может быть частью оболочки вакуумного передающего прибора. Называется такой диск волоконно-оптическим, сокращенно — ВОД. Представим себе, что стенка ЭОП, на которой расположен люминофор, сделана из ВОД. Тогда свет от каждой светящейся точки люминофора пройдет по центральной нити, не отклоняясь в сторону и не теряя яркости Так как стекла для нити и оболочки подбирают так, чтобы предельный угол был большим, значит, для большой части света, испускаемого люминофором, внутри волокна будут условия полного отражения. Поэтому распределение света на другой стороне ВОД будет почти таким же, как на люминофоре.

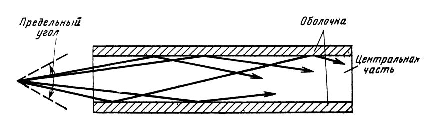


Рис. 26. Распространение световых лучей по центральной нити, когда угол их с осью нити меньше предельного

Для света от тех точек люминофора, которые расположены не против нитей, а против оболочек, условий полного внутреннего отражения нет. Эти световые лучи могут из оболочки попасть в центральную нить, могут из оболочки одной нити попасть в оболочку другой и таким образом отклониться в сторону от той точки, в которую они попали. Но поскольку оболочки тонкие, основное количество света попадает в центральные нити. К тому же стекло оболочек малопрозрачное, и свет в них быстро затухает. Поэтому распределение света на выходе ВОД повторяет распределение на входе.

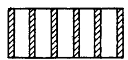


Рис. 27. Волоконно-оптический диск (фрагмент в разрезе)

Понятно, что, сделав и у суперортикона входное окно из ВОД, мы на фотокатоде получим такое же распределение темных и светлых участков, как в изображении, проецируемом на вход суперортикона. Остается сделать последний шаг. Плотное соединение ВОД — выхода ЭОП с ВОД — входом суперортикона обеспечит на его фотокатоде такое же распределение света, какое проецируется на ЭОП, но более яркое

Сочленение через ВОД — наиболее распространенный способ «одевать очки суперортикону». Для этого изготавливают ЭОП и суперортиконы, у которых одна стенка прибора не из простого стекла, а из ВОД. Потери света и в этом случае есть, но они меньше. Прибор получается достаточно компактным, при выходе из строя одной части заменять нужно только испортившуюся, а не обе.

Электронно-оптический преобразователь с микрокапиллярной пластиной (МКП). Электронно-оптические преобразователи значительно увеличивают возможности телевизионной техники. Однако увеличения чувствительности, создаваемого ЭОП, о котором мы рассказали, бывает недостаточно. Упоминавшаяся же батарея ЭОП представляет собой настолько громоздкое сооружение, что применяется мало.

Попробуем разобраться количественно в процессах, происходящих в ЭОП. Допустим, используется в ЭОП фотокатод, квантовый выход которого 30%. Это значит, что из каждых 10 фотонов, упавших на фотокатод, семь не сделали никакого полезного дела — поглощение их фотокатодом не вызвало эмиссии электронов. Из трех оставшихся фотонов каждый вызвал выход из фотокатода по одному электрону. Ускоренный электрическим полем в ЭОП электрон при ударе о люминесцентный экран вызывает испускание 30...40 фотонов. Таким образом, получается, что на каждые 10 фотонов, падающих на фотокатод, экран ЭОП испускает около 90...120 фотонов, что соответствует увеличению света примерно в 10 раз.

Что можно сделать, чтобы ЭОП работал эффективнее? Можно увеличивать напряжение, приложенное к нему. При этом вырастет энергия бомбардирующих экран электронов и под действием их ударов будет больше испускаться экраном фотонов Однако увеличение напряжения ведет к более быстрому разрушению люминесцентного экрана. А выигрыш, достигаемый при увеличении напряжения, не слишком велик: усиление в самых эффективных ЭОП меньше ста.

Если число фотонов, выбиваемых одним электроном из экрана, недостаточно велико, естественна мысль получить усиление света в ЭОП не только за

счет большой скорости электронов, бомбардирующих экран, но и в основном за счет увеличения количества самых бомбардирующих электронов, т. е. использовать принцип, применяемый в фотоэлектронных умножителях (ФЭУ), где первичные электроны выбивают в несколько раз больше вторичных, вторичные — в несколько раз больше третичных и процесс увеличения числа электронов нарастает лавиной. В итоге каждый электрон, вышедший из фотокатода, проходя через прибор, создает благодаря вторичной эмиссии миллионы новых электронов — усиление, не сравнимое с тем, которое достигается в ЭОП Однако в фотоэлектронном умножителе все электроны движутся в приборе единым потоком. Чтобы использовать вторичное умножение в ЭОП, усиливающем изображение, надо прибор, аналогичный ФЭУ, разделить на 500 тыс. отдельных микроскопических полостей (500 тыс. элементов — таково условие получения высококачественного изображения) и в каждой полости усилить только «свои» фотоэлектроны Для этого в каждой полости должно быть несколько электродов с большим коэффициентом вторичной эмиссии, на которых будет происходить умножение электронов. Чтобы на пути от одного электрода — вторичного эмиттера — к другому электроны, разгоняясь, набирали нужную скорость для выбивания вторичных электронов, каждая полость вдоль пути электронов должна быть разделена на несколько отдельных, электрически не связанных частей. При этом надо добиться того, чтобы вновь созданные вторичные электроны продолжали путь в следующей части данной полости и не попадали в соседнюю

Самое удивительное, что эта необычайно сложная, с микроскопически малыми элементами конструкция изготовлена, только при этом было создано более простое устройство, но имеющее свойства описанной конструкции Основой устройства является МКП, которая, как следует из самого названия, состоит из очень тонких стеклянных трубочек (капилляров), спаянных своими оболочками, благодаря чему они и образуют единую деталь. Внутренний диаметр капилляров — не более нескольких десятков микрон. Это и позволяет на площади в один или несколько квадратных сантиметров (а такова площадь изображения, которое объектив проецирует на вход передающих телевизионных трубок) получить около 500 тыс. отдельных элементов Для изготовления капилляров используется специальное стекло, обладающее большим коэффициентом вторичной эмиссии. К торцам пластины толщиной около 1 см прикладывается разность потенциалов в несколько киловольт, поэтому внутри капилляров существует сильное электрическое поле. Фотоэлектроны, входящие в капилляр, пролетев некоторое расстояние внутри него и ударившись о его стенки, выбивают из них в несколько раз большее количество вторичных электронов. Эти вторичные электроны ускоряются электрическим полем и, имея достаточную скорость при ударе о стенку капилляра, создают еще в несколько раз большее количество электронов, вторичные электроны создают третичные и т. д. Электрическим полем весь поток, включающий первичные, вторичные, третичные и т. д. электроны, продвигается от входа канала к его выходу На выходе капиллярной пластины количество электронов в десятки и сотни тысяч раз превосходит количество первичных электронов. Чтобы стенки капилляров не заряжались при уходе вторичных электронов, так как такая зарядка вызовет искажение поля, ускоряющего электроны, стекло, из которого делается ка-

пиллярная пластина, обладает небольшой проводимостью. Чтобы из фотокатода не испускались фотоэлектроны под действием свечения люминесцентного экрана, капилляры МКП не прямые, а несколько закрученные. На рис. 28 представлено устройство ЭОП с МКП. Показаны два луча света, попадающие на фотокатод и вызывающие два отдельных потока фотоэлектронов, которые проходят сквозь разные каналы микрокапиллярной пластины, и два усиленных луча, выходящих из прибора через ВОД. Электроды на торцах МКП, которые создают электрическое поле в каналах, могут быть сплошными (т. е. закрывать отверстия каналов). Ускоренные полем электроны «простреливают» их насквозь

В таких ЭОП достигается усиление света в десятки и сотни тысяч раз Поэтому чувствительность телевизионных приборов при использовании их возрастает еще более, а соответственно растут и возможности ночного телевидения.

Но ЭОП с МКП превосходит обычный ЭОП не только по чувствительности Сфокусировать одинаково четко весь широкий электронный поток в ЭОП

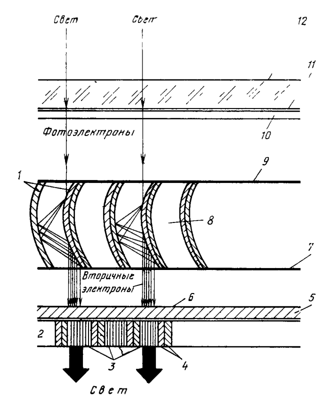


Рис 28. Устройство ЭОП с микроканальной пластиной:
1 — стенки канала, 2 — ВОД; 3 — жилы; 4 — оболочки жилы; 5 — прозрачный электрод; 6 — люминофор; 7 — выходной электрод МКП, 8 — микрокапиллярный канал МКП; 9 — входной электрод МКП, 10 — фотокатод; 11 — прозрачный электрод; 12 — стеклянный диск, часть оболочки ЭОП, через который свет проходит в ЭОП

очень трудно Поэтому различимость мелких деталей на краях изображения в обычных ЭОП заметно понижается В МКП все капилляры одинаковы Поэтому мелкие детали в центре и на краях изображения передаются одинаково. К тому же и размер ЭОП с МКП меньше.

Статистические законы физики, естественно, справедливы и для явления вторичной эмиссии. Поэтому, если среднее число вторичных электронов, выбиваемых одним первичным электроном, например 5, то в отдельном акте эмиссии может выбиваться и 4, и 6, и 3 и 7, и т. д. электронов И в итоге МКП не только усиливает свет, но вносит в изображение свою шумовую составляющую. Поэтому ЭОП с МКП применяют именно в тех случаях, когда необходимо сильное увеличение света и с ростом шума приходится мириться.

Изокон. Мы рассказали о том, как можно повысить чувствительность суперортикона, соединив его с ЭОП А нет ли путей повышения чувствительности за счет изменения устройства самого прибора? Оказывается, есть, но тогда суперортикон уже становится изоконом

Вспомним, как образуется сигнал в суперортиконе При прочерчивании лучом мишени часть электронов луча возвращается обратно, и они попадают во вторично-электронный умножитель. Ток в усилителе тем больше, чем больше количество этих электронов, прошедших через фотоумножитель, т. е. чем больше число электронов, отраженных от мишени. Слабо освещенному объекту соответствует на мишени малый заряд Что же нужно, чтобы обратный ток при прочерчивании лучом участка мишени с указанным зарядом заметно отличался от обратного луча при прочерчивании фона? Очевидно, необходимо, чтобы обратный ток сильно зависел от заряда (или иначе — от потенциала) мишени. Исследования показали, что количество отраженных электронов определяется несколькими процессами. Два главных из них зеркальное отражение и рассеяние. При зеркальном отражении электроны, не достигнув мишени (скорость их мала, а потенциал мишени низкий, так что у электронов недостаточно энергии, чтобы попасть на мишень), поворачивают от нее в обратную сторону. При рассеянии электроны достигают мишени и уходят от нее после взаимодействия с кристаллической решеткой ее вещества. С понижением потенциала мишени количество уходящих от нее рассеянных электронов падает Но очевидно, что количество зеркально отраженных электронов с понижением потенциала мишени растет. Поэтому указанные два процесса при работе суперортикона действуют как лебедь, рак и щука в известной басне Крылова (рис. 29)

С увеличением освещенности один процесс увеличивает сигнал на выходе прибора, другой — уменьшает. Изменение сигнала с изменением силы света получается меньшим, чем оно было бы при согласовании процессов зеркального отражения и рассеяния. Оказывается, зеркально отраженные и рассеянные электроны можно разделить. Зеркально отраженные электроны уходят от мишени по пути, симметричному тому, по которому они пришли (согласно правилу: угол падения равен углу отражения).

Взаимодействие отдельных электронов с кристаллической решеткой различно. Поэтому электроны, которые уже взаимодействовали с ней, уходят от мишени под произвольными углами. Если направить электронный луч под некоторым углом к мишени, то все зеркально отраженные электроны также уйдут от мишени под углом, равным углу падения, т. е симметрично электро-

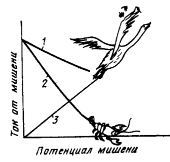


Рис. 29. Зависимость общего тока, идущего от мишени, и его компонентов от потенциала мишени
1 — общий ток, 2 — ток зеркально отраженных электронов, 3 — ток рассеянных электронов

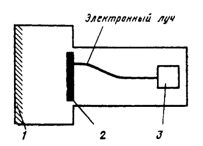


Рис. 30 Схема устройства секона
1 — фотокатод; 2 — пористая мишень с сигнальной пластиной, 3 — прожектор

нам первичного луча. При обратном движении электронов от мишени есть точки, в которых обе симметричные траектории совпадают (надо учесть, что из-за влияния фокусирующего магнитного поля траектории не прямые). Вот в такой-то точке устанавливается диафрагма, которая пропускает электроны луча от прожектора к мишени и зеркально отраженные в обратном направлении Но при этом зеркально отраженные электроны во вторично-электронный усилитель не попадают и, следовательно, не участвуют в образовании сигнала. Туда попадают только рассеянные электроны. При этом зависимость обратного тока от потенциала мишени делается более сильной, чем в суперортиконе. Достаточно небольших изменений потенциала мишени, т. е. небольшого изменения заряда, чтобы обратный луч, а следовательно, и ток сигнала заметно изменились. Так суперортикон стал чувствительнее. Суперортиконы с таким методом считывания зарядов мишени называют изоконами Из изложенного очевидно, что конструкции изокона и суперортикона подобны (см. рис. 5) [1]. Их принципиальное отличие заключается в наличии у изокона дополнительной диафрагмы, разделяющей электроны обратного луча

Существует еще одно обстоятельство, повышающее чувствительность изоконов: в суперортиконе самый большой обратный луч от темных мест (потенциал которых ниже) Но значение тока луча (мы уже об этом говорили) имеет не строго постоянное значение, что порождает и колебания в значении обратного тока. Чем больше обратный ток, тем больше его шумы, связанные с непостоянством тока луча. Таким образом, максимальный шумовой ток налагается на минимальный полезный сигнал (темные элементы). Поэтому отличить два слабо освещенных предмета оказывается особенно трудно. В изоконе положение иное. Самый большой обратный ток идет со светлых элементов. Значит, наибольший шумовой ток налагается на наибольший полезный сигнал. При этом шумовой ток в меньшей степени мешает различению объектов.

---

[1] В суперортиконе так же, как и в изоконе, на пути движения электронов к мишени и от нее нет прямолинейных участков. На рис. 5 траектории показаны прямыми для упрощения рисунка.

Использование изоконного считывания дало возможность так повысить чувствительность суперортикона, что в некоторых случаях применение ЭОП оказалось излишним. Изоконы с ЭОП позволили сдвинуть границу видения в область более слабых освещенностей.

Выше уже говорилось о сложности устройства суперортикона. В изоконе же надо обеспечить весь механизм действия суперортикона и еще решить задачу разделения обратного луча Понятно, что этот прибор еще сложнее. Таким образом, каждый из двух рассмотренных приборов применяется в соответствии со своими преимуществами и недостатками.

Секон и суперкремникон. Сложность устройства суперортикона во многом связана с очень малой величиной зарядов на мишени. Сделав заряды на мишени большими, можно было бы, как в видиконе, обходиться без вторично-электронного умножителя. При этом устройство той части прибора, где фокусируется и отклоняется луч, могло бы быть менее громоздким и сложным, проще стала бы настройка.

Напомним, что и в суперортиконе ток, заряжающий мишень, больше фототока. Это достигается покрытием одной поверхности мишени веществом, имеющим большой коэффициент вторичной эмиссии. Поэтому каждый приходящий фотоэлектрон выбивает из мишени несколько вторичных фотоэлектронов и, как было сказано, заряд на мишени получается бо́льшим, чем если бы он создавался непосредственно фототоком. Однако такое увеличение не может быть очень значительным. Другое дело, если бы процесс вторично-электронного умножения повторялся бы неоднократно, т. е. умножался бы не только первичный фотоэлектрон, но и те вторичные электроны, которые им созданы. Именно это происходит с отраженным лучом во вторично-электронном умножителе суперортикона и с электронами в МКП Но как это сделать непосредственно в мишени?

Существует два разных технических решения этой задачи и созданы с использованием внешнего фотоэффекта два более простых, чем суперортиконы, высокочувствительных прибора — секон и суперкремникон.

В секоне мишень, на которую приходят электроны с фотокатода, пористая. Ее объем только на несколько процентов заполнен веществом, все остальное — поры. В качестве вещества используют материалы с высоким коэффициентом вторичной эмиссии Фотоэлектроны, приходящие с фотокатода, ударяются в стенки пор и вызывают появление вторичных электронов, которые продвигаясь под действием электрического поля через пористую пленку, натыкаются на стенки пор и рождают следующее поколение вторичных электронов, которое благодаря высокому коэффициенту вторичной эмиссии значительно больше первого. (Как видно, процесс в мишени напоминает «размножение» электронов в каналах МКП). Таким образом, к поверхности мишени приходит ток, значительно (в 100 раз) превышающий тот первичный фототок, которому он обязан своим рождением. Поэтому на поверхности мишени создаются достаточно большие заряды. Название этого прибора происходит от английского «секонд», что означает вторичный, указывая на роль вторичных электронов в работе этого прибора. Общая схема устройства прибора показана на рис. 30.

По возможности работать при малой освещенности секон уступает суперортиконам, но превосходит видиконы. По размерам, потребляемой мощности,

массе и простоте обслуживания он — между видиконом и суперортиконом. Секоны были применены, в частности, при телевизионной передаче американскими космонавтами с Луны. В этом случае дополнительным преимуществом секонов была практическая независимость их свойств от температуры окружающей среды. Перепады же температуры на Луне очень велики.

Мишень секона имеет очень высокое сопротивление. Поэтому при длительном процессе накопления можно не опасаться того, что потенциальный рельеф одновременно с образованием будет «растекаться» по мишени. Таким образом, если объекты малоподвижны, то благодаря длительности накопления чувствительность секона может быть очень высокой.

Мишень суперкремникона напоминает мишень кремникона, отсюда и происхождение названия. Это также мозаичная мишень.

В каждом полупроводниковом диоде в его p-области очень высокая концентрация носителей тока в виде дырок, в расположенной напротив n-области высокая концентрация свободных электронов, однако ток через мишень незначительный — запорная область между этими двумя зонами не дает возможности зарядам перемещаться. Но если в диод попадает электрон, ускоренный напряжением в несколько киловольт, он действует подобно бомбе, разорвавшейся в стене плотины. Как сквозь отверстие плотины хлынет вода, так и по следу быстрого электрона через запорную зону пройдет большое количество носителей тока, которые ранее через эту зону пройти не могли.

Таким образом, в отличие от мишени кремникона мишень суперкремникона реагирует не на свет, а на поток первичных электронов Один первичный электрон дает возможность преодолеть p-n переход примерно 1500 других электронов. Значит, и количество электронов, заряжающих мишень, превосходит количество фотоэлектронов примерно в 1500 раз.

По своему устройству суперкремникон подобен секону, отличаясь от него мишенью. Так как в мишени суперкремникона «размножение» фотоэлектронов сильнее, чем в мишени секона, суперкремникон чувствительнее. Соединив суперкремникон с ЭОП, можно получить передающий прибор для ночного видения более простой, чем прибор на основе суперортикона. Для этой цели изготавливаются суперкремниконы с входным окном из ВОД Суперкремникон сравнительно с суперортиконом содержит меньшее число узлов в конструкции прибора и более прост в настройке. Однако его мишень настолько сложна, что изготавливать суперкремникон не проще, чем суперортикон. Поэтому и эти два прибора существуют, не вытесняя друг друга.

Таким образом, сложнейшая задача — дать возможность с помощью телевидения «видеть» ночью — решена, причем созданием целого ряда передающих приборов, каждый из которых приспособлен к определенным условиям передач. Добавим, что число приборов в этом ряду будет увеличиваться. Например, при том огромном увеличении силы света, которое создает ЭОП с МКП, на выходе его можно даже ночью получить свет, достаточный для работы видикона. Значит, возможно ночное телевидение на видиконе, соединенном с ЭОП В темную ночь, когда нет фонарей, а небо закрыто тучами, когда «не видно ни зги», человеческий глаз ничего вокруг различить не может, электронный глаз видит. Водитель в полной темноте ведет машину (ветровое стекло за ненадобностью может быть даже заменено непрозрачным материалом), на-

блюдая за дорогой на телевизионном экране. Вертолет приземляется ночью в неизвестной местности, но летчик на экране телевизора видит, что делается под вертолетом. Наблюдение при малой освещенности важно не только для ночного телевидения. Передающие трубки, смотрящие в телескоп вместо человеческого глаза, позволяют астрономам глубже проникнуть во Вселенную. Они помогают подводникам и водолазам, позволяют врачам уменьшать дозу облучения при обследовании больных рентгеновскими лучами. Чувствительные телевизионные глаза — огромное достижение техники, расширившее границы возможностей человека.

Глава 5

ЦВЕТНОЕ ТЕЛЕВИДЕНИЕ

И пред ним, зеленый снизу,
Голубой и синий сверху,
Мир встает...

Э. БАГРИЦКИЙ. Птицелов

Насколько бы беднее стал окружающий мир, если бы он потерял цвета. Но отсутствие цвета в черно-белом телевидении — это не только невозможность передать всю красоту окружающего мира. Многим, вероятно, приходилось смотреть по телевизору матч, когда во время передачи почти нельзя различить по форме игроков одной и другой команды. Одна из команд могла иметь зеленые майки, другая — красные. Если яркость тех и других оказывалась одинаковой, то в черно-белом телевидении они передаются как один и тот же серый цвет. При исследовании нашей планеты с помощью самолетов или искусственных спутников Земли на черно-белом изображении участки, совершенно различно окрашенные, могут оказаться неразличимыми, если яркость их одинаковая. Таким образом, цвет в телевидении — это не только эстетика, но и достаточно полное представление о передаваемых предметах.

Чтобы телевидение стало цветным, надо было решить много сложных задач. Мы же рассмотрим лишь, какие передающие приборы нужны для цветного телевидения (ЦТ).

Азбука цвета давно известна и давно применяется в полиграфии Известно, что три основных цвета — красный, зеленый, синий, смешанные в различной пропорции, позволяют получить любой цвет. В полиграфии для получения одного цветного изображения изготавливается три клише. На каждое из них затем наносится краска одного основного цвета, и после отпечатка трех клише на бумаге остается цветной рисунок. Этот же принцип является основным и для телевидения. Вместо одной передающей трубки используются три Перед каждой трубкой стоит фильтр. Фильтр пропускает световые лучи только одного определенного цвета. Перед одной трубкой поставлен фильтр, который пропускает только зеленый свет, и соответственно эта трубка передает яркость зеленой компоненты изображения. Перед другой трубкой стоит красный фильтр — она пе-

редает яркость изображения по красной компоненте. Третья трубка выполняет такую же роль для синей компоненты. В кинескопе цветного приемника каждый малый участок экрана, задача которого передать один элемент изображения, состоит из трех еще меньших участков разных люминофоров. Каждый из люминофоров при бомбардировке экрана электронным лучом светится или синим, или красным, или зеленым светом. Сила тока электронного луча, когда он бомбардирует синий люминофор, управляется сигналом передающей трубки за синим фильтром, когда он бомбардирует красный люминофор — сигналом передающей трубки за красным фильтром. Аналогично для зеленой компоненты. Для глаза свечение отдельных люминофоров сливается в одну общую картинку, и таким образом мы наблюдаем цветное изображение.

Итак, ясно, что для ЦТ надо использовать три трубки. При этом роль отдельных цветов в создании изображения неодинакова. Причина в следующем.

Чтобы получить черно-белое изображение, надо передать сигналы о яркости всех элементов изображения (т. е. так называемый яркостный сигнал). Чтобы изображение стало цветным, надо передать три сигнала, так как их достаточно, чтобы передать цвет и яркость объекта. Но при этом телевизионная аппаратура станет слишком сложной. Изучение свойств зрения показывает, что цветными мы видим только крупные объекты, в мелких же объектах цвет мы не различаем. Поэтому в ЦТ сигналы цвета вырабатываются значительно менее детальными, чем яркостный сигнал. Это и спасает аппаратуру от излишней сложности и даже позволяет вести передачи цветного и черно-белого телевидения с помощью аппаратуры, имеющей много общих устройств. В трехтрубочной камере две трубки передают только сигналы цвета. Третья же, как солирующая скрипка в оркестре, которая одна передает мелодию произведения, не только генерирует сигнал третьего цвета, но и позволяет получить представление об изображении со всеми входящими в него мелкими деталями. Заметим, что при этом все трубки могут быть одинаковыми, но сигнал первых двух будет проходить усилитель, который не пропускает более высокочастотные сигналы от мелких деталей[1]. Одно время были широко распространены четырехтрубочные камеры. В таких камерах одна трубка генерировала яркостный сигнал, а остальные три — цветовые. Однако трехтрубочные камеры как вариант более экономичный вытеснили четырехтрубочные.

Сколько нужно трубок для камеры ЦТ, мы уже выяснили. Возникает вопрос: какие? Пригодны ли рассмотренные нами выше, используемые в черно-белом телевидении, или необходимы новые приборы? Чтобы ответить на этот вопрос, надо рассмотреть, какие особые требования предъявляет ЦТ к свойствам передающих приборов.

То изображение, которое создается на экране телевизора, немного отличается по геометрической форме от передаваемого Но эти отличия очень малы и потому незаметны. Для цветного телевидения важно, что указанные выше отступления от идеальной передачи формы объектов для каждой из трех трубок различны. И поэтому изображение, получаемое от трех трубок, будет двоиться, троиться. На краях всех объектов появятся или зеленые, или красные, или си-

[1] К вопросу о связи детальности изображения со свойствами усилителя, усиливающего телевизионный сигнал, мы еще вернемся в гл. 7.

ние линии, и даже малая неидеальность совмещения отдельных изображений даст резкое ухудшение качества. Поэтому одно из основных требований к приборам для трехтрубочной камеры ЦТ — очень малые геометрические искажения; при этом они должны сохраняться такими в процессе длительной работы

Еще одно требование — очень малая (меньшая, чем для трубок черно-белого телевидения) инерционность генерирования сигнала, которая, как правило, зависит от уровня сигнала. Значит, инерционности красного, синего и зеленого сигналов не равны. Следовательно, если за быстро движущимся предметом на черно-белом телевизионном экране просматривается размазанный след (результат инерционности трубки), то в ЦТ этот след будет отличаться по цвету от самого предмета и потому будет заметен гораздо сильнее. Вот и приходится к трубкам для ЦТ предъявлять особо жесткие требования.

Очевидно, что в трубках, в которых электронный поток с фотокатода необходимо перенести на мишень, геометрические искажения устраняются особенно трудно и сложнее поддерживать постоянство настройки. Значит, высококачественный прибор для ЦТ — это прибор без секции переноса, т. е. это не суперортикон, не изокон, не суперкремникон, не секон. У диссектора мала чувствительность. Значит, это видикон.

Заметим, что в первых камерах ЦТ использовались уже существовавшие в то время суперортиконы. Однако из-за большого размера суперортиконов, а следовательно, и катушек, фокусирующих и отклоняющих электронный луч, сложной автоматики для устранения нестабильностей передающая камера была очень большой и очень трудоемкой в настройке. Да и инерционность суперортикона оказалась недостаточно малой и заметно сказывалась на качестве изображения.

Плюмбиконы-глетиконы, сатиконы. Итак, для ЦТ нужны видиконы Но у всех известных видиконов, даже у такого, как кремникон, инерционность оказалась все же велика для ЦТ. Причина этого — составляющая инерционности, связанная с перезарядкой мишени при изменении освещенности. Чтобы электронный луч мог быстро перезарядить мишень, емкость ее должна быть относительно мала, а значит, мишень — относительно толстой (15...30 мкм вместо обычных 1...2 мкм). Но чтобы при прохождении фототока через мишень не появилась фотоэлектрическая составляющая инерционности, носителям тока в ней должны быть обеспечены идеальные условия — такое малое количество центров прилипания, чтобы носители проходили всю толщину мишени, нигде не «застревая» Это удалось создать в мишени из тонких кристаллов окиси свинца. Поэтому видиконы с такой мишенью называют плюмбиконами (от латинского «плюмбум» — свинец) или глетиконами (один из видов окиси свинца называется «глет»). Мишень обрабатывается так, что на ее поверхностях (как у кремникона и кадмикона) образуются p- и n-зоны. Окись свинца — высокоомный материал, и носителей тока, полученных тепловым движением, в нем мало. Благодаря созданию p-n перехода таких носителей в мишени становится еще меньше Значит, токи, протекающие через мишень в темноте, очень малы. Таким образом, при использовании плюмбиконов фон изображения получается чистым (темновые токи незаметны), инерционность — малой, геометрические искажения — незначительными и стабильными. Поэтому плюмбикон — основной передающий прибор ЦТ.

Окись свинца — высокоомный фотопроводник. Даже легированный в тонком слое, он не «размазывает» потенциальный рельеф на мишени, что дает возможность делать ее сплошной, а не мозаичной. Однако, возвращаясь к рассмотренному в гл. 2, можно сделать вывод, что малая инерционность при высоком сопротивлении возможна лишь при низкой чувствительности. Так оно и есть. Если передается ярко освещенный сюжет, то недостатков в качестве передачи нет. А вот, например, при передаче балета при не ярко освещенной сцене качество передачи ухудшается. Задача создания прибора для ЦТ, обладающего всеми достоинствами плюмбикона, но с более высокой чувствительностью, пока не решена.

В последние годы создан еще один видикон с очень малой инерционностью — сатикон (название от селен — арсеникум — теллур, таков состав мишени). С помощью этого видикона удалось повысить некоторые параметры камер, но не чувствительность.

Многосигнальные видиконы. Три видикона в одном. Камеры на трех плюмбиконах много меньше, чем первые камеры ЦТ на трех суперортиконах, но все же велики. Чтобы ЦТ из студии, где еще можно мириться со сложной и громоздкой аппаратурой, шагнуло в промышленность, на транспорт, в космос, в быт, необходимо приблизить передающие камеры ЦТ по массе, габаритным размерам, потребляемой мощности, сложности устройства и стоимости к камерам черно-белого телевидения. Читатель, вероятно, уже догадывается, что для этого нужно, чтобы в камере ЦТ, так же как и в черно-белой, была одна трубка, а не три. Следовательно, нужна такая трубка, которая одна могла бы генерировать сигналы, дающие информацию и о яркости объекта, и о цвете.

Какую из существующих трубок взять за основу для создания многосигнальной трубки? Необходимость передавать сигналы яркостный и трех цветов и означает, что трубка должна иметь высокую разрешающую способность. Ее легче получить в видиконе и в диссекторе. Поскольку необходимость получить от одной трубки несколько сигналов должна, конечно, усложнить ее устройство, желательно исходный прибор взять возможно более простым. Этому требованию также удовлетворяют видикон и диссектор. При делении света на основные цвета с последующим преобразованием цветовых сигналов, часть полезного света и полезных сигналов теряется. Поэтому для многосигнального прибора малочувствительный диссектор не годится.

Сейчас промышленностью выпускаются и в камерах ЦТ используются многосигнальные видиконы нескольких классов. Одни из них привлекают простотой, другие — возможностью получать лучшее качество изображения, третьи — тем, что упрощают обработку получаемого сигнала. О некоторых классах этих приборов будет рассказано.

Принцип действия многосигнальных видиконов, появившихся первыми, очень прост. В этих приборах из одной сигнальной пластины сделано три в виде гребенок. На рис. 31 изображены такие пластины. Штриховой линией показана та часть одной из сигнальных пластин, где она проходит ниже другой и отделена от нее изолятором. Прямоугольником на одной из строк показан элемент цветного изображения, перекрывающий участки на трех сигнальных пластинах. Стрелками указано направление к выводам, соединяющим сигнальные пластины с внешней целью. В каждой сигнальной пластине будет протекать ток сигнала в

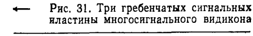


Рис. 31. Три гребенчатых сигнальных пластины многосигнального видикона

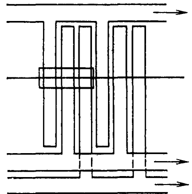
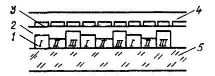


Рис. 32. Поперечный разрез входного окна многосигнального видикона

1 — полоски фильтров (I, II, III), 2 — пленка из кварца, отделяющая фильтры от сигнальной пластины, 3 — соответствующие фильтрам полоски сигнальных пластин, 4 — фотопроводящая мишень, 5 — торцевой диск (часть оболочки прибора)



момент, когда электронный луч движется по мишени над этой пластиной. Если над одной пластиной поместить фильтр, пропускающий только синий свет, над другой — только красный свет, над третьей — только зеленый свет (рис. 32), то в цепи одной сигнальной пластины будет идти ток, пропорциональный синей, в цепи другой — красной, а в цепи третьей — зеленой компонентам изображения. Если «зубья» гребенки сделать достаточно узкими, то в каждом микроскопическом элементе изображения синие, красные и зеленые компоненты будут передаваться в том же соотношении, в каком они входят в передаваемое изображение. А по сигналу всех трех компонент можно судить и о яркости изображения. Таким образом, одна такая трубка может передавать цветовое изображение.

Итак, рассмотренный многосигнальный видикон — это практически три отдельных видикона в одной оболочке (как кукла-матрешка). У этих видиконов общий электронный луч, общая фотопроводящая мишень

Понятно, что сделать трубку, которая имела бы достаточное для вещательного телевидения разрешение в трех цветах, технологически очень трудно Три таких сигнала очень осложнили бы телевизионную аппаратуру, их нельзя было бы передать в той полосе частот, которая отведена для телевидения. Значит, сигналы не должны отражать мелкие детали изображения. В трехтрубочной камере сигналы цвета тоже были малодетальными. Но один сигнал нес информацию о мелких деталях. В трехсигнальном же видиконе в триаде фильтров все цвета передаются одинаково. Таким образом, получаемое изображение будет с пониженным разрешением

Заметим, что в различных прикладных системах обычно не надо выходить в эфир. Тогда при том, что цветовые сигналы трубки не очень детальны, они дают информацию о цвете для деталей более мелких, чем видит глаз человека. Информацию о цвете в этом случае надо фиксировать с помощью приборов.

Таким образом, одна трехсигнальная трубка рассмотренного устройства позволяет создать камеры ЦТ с несколько пониженной способностью передавать мелкие детали либо камеры для прикладного телевидения со специальными свойствами.

Частотное кодирование цветовой информации. Электроны в фотопроводнике, освобожденные светом любого цвета, все одинаковые. Поэтому по протекающему в цепи сигнальной пластины току не определить, какого цвета были световые лучи, вызвавшие фотоэффект. Чтобы передать цветное изображение трубкой, у которой одна сигнальная пластина, надо сигнал с каждого элемента изображения снабдить пометкой· это сигнал такого цвета, этот такого и т д. Причем зритель этих пометок видеть не должен. Значит, нужен скрытый от зрителя тайный код.

После появления телеграфа, когда им стали широко пользоваться, одного провода, а затем и двух-трех стало не хватать. Вот тут и появилось новое чудо — передача нескольких телеграмм одновременно по одному проводу. Как это делается? По проводу идет переменный ток определенной частоты. Этот ток прерывается ключом телеграфиста, выстукивающего с помощью азбуки Морзе текст телеграммы. Идет переменный ток и другой частоты, также прерываемый ключом телеграфиста На приемном конце имеются специальные фильтры для переменного тока. Каждый из них пропускает ток только заданной частоты. Таким образом, переменный ток одной частоты (с соответствующими пропусками, определяемыми передаваемым текстом) проходит в одно приемное устройство, другой — в другое и т. д. Этот принцип использует и радио. Огромное количество радиостанций мира посылают одновременно в эфир свои передачи. Однако приемник настраивается на определенную частоту и каждая передача ведется на этой частоте

Такой широко используемый в технике связи принцип передачи музыки, речи, текста с помощью переменных токов разных частот и был использован в многосигнальных видиконах ЦТ для кодирования цвета. Осуществляется он следующим образом. Перед мишенью трубки создается светоделительный фильтр в виде ряда полос, перпендикулярных строкам (рис. 33). Допустим, эти полосы пропускают синий и зеленый свет (рис. 33,*а*). Между этими полосами расположены прозрачные промежутки, через которые проходят синяя, зеленая и красная компоненты изображения. Таким образом, на фотопроводящую мишень красная компонента будет полосами то попадать, то не попадать. Значит, в токе сигнала (рис. 33,*б*) появится переменный ток, частота которого определяется временем движения электронного луча от одной полоски фильтра к другой (или, иначе говоря, шириной полоски фильтра). Из общего тока сигнала можно выделить ток такой частоты. Там, где выделенный переменный ток большой, очевидно, в изображении есть яркая, красная компонента, где меньше — она слабая Таким образом, ток этой частоты дает нам данные о распределении красной компоненты по изображению.

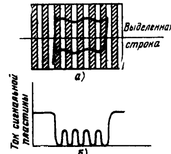


Рис 33 Кодирующие фильтры во входном окне многосигнального видикона с частотным методом кодирования и передача таким видиконом сюжета красный флаг на синем фоне

На этот фильтр может быть наложен другой фильтр, тоже в виде полосок, но не пропускающих, например, синюю компоненту света и имеющих другую ширину. Тогда в общем токе сигнала будет переменный ток и

другой частоты, по силе которого можно судить о распределении по изображению синей компоненты света.

Что же касается зеленого света, то его пропускают оба фильтра. Следовательно, сложная структура входного окна не влияет на прохождение зеленого света. Он проходит сквозь него так же, как проходит свет через входное окно видикона для черно-белого телевидения, в котором фильтров нет.

Какая разрешающая способность трубки в зеленом свете, легко понять из следующего. Предположим, проекция на мишень какого-либо объекта, содержащего зеленую компоненту, будет равна по ширине полоске фильтра. При этом в сигнальном токе возникнет составляющая такой частоты, какую дают полоски фильтров. Следовательно, зеленая компонента создает сигнал, который будет восприниматься как синий или красный (в зависимости от того, с каким фильтром получилось вышеуказанное совпадение). Чтобы не возникали такие цветовые ошибки, надо передавать в зеленом цвете только объекты, проекция которых шире полосок обоих фильтров. Но трубка не может иметь такой низкой разрешающей способности. Ведь сечение электронного луча, определяющее обычно разрешение прибора, должно быть таким малым, чтобы создавать достаточно большой сигнал от полосок фильтра, иначе не будет красных и синих сигналов. Поэтому нужное ограничение достигается иным путем.

На входное окно трубки помещается пластина, вырезанная из кристалла кварца. Она имеет свойство двоить изображение, так как каждый падающий на нее луч света превращается в два луча. Оба луча расположены очень близко друг к другу, и поэтому двоение на крупных деталях незаметно. Другое дело передача очень мелких деталей, размер проекции которых близок к величине раздвоения луча. Например, если деталь темная на светлом фоне, то на нее с окружающего ее фона будут попадать раздвоенные лучи и она перестанет быть видимой. Толщина кварцевой пластинки выбирается таким образом, чтобы размазать проекцию тех объектов в изображении, у которых размер проекции на мишень равен ширине полоски фильтра. Следовательно, такие объекты на фотомишень не проецируются, хотя они есть в изображении. При этом разрешение зеленого сигнала остается много выше, чем в синем и красном сигналах. Поэтому сигнал зеленого света можно использовать для создания яркостного сигнала. Усилители красного и синего сигналов (вместе со стоящими перед ними фильтрами) пропускают синалы только крупных объектов, благодаря чему все три сигнала укладываются в ту же полосу частот, что и сигналы черно-белого телевидения.

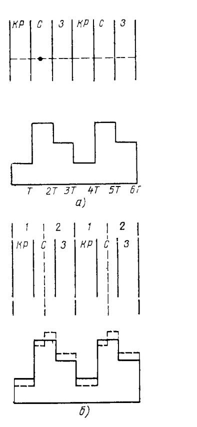
Когда телевизионный передающий прибор передает сигналы от мелких деталей, сигнал падает. Так как красный и синий цвета передаются как сигналы от узких полосок фильтра, то чувствительность трубки к этим цветам понижена.

Устройство трубки с частотным кодированием значительно проще, чем трубки, рассмотренной выше. Действительно, сигнальная пластина в этом случае одна, сплошная, и не нужно добиваться точного расположения друг под другом микроскопически узких полосок сигнальной пластины и фильтров. Зато обработка сигнала этого видикона, очевидно, более сложная.

Индексные видиконы. Если известно время, когда произойдет некоторое событие, то уже этого достаточно, чтобы отличить его от других событий. Например, если есть расписание прибытия автобусов, то надписи на автобусах, обоз-

начающие номер маршрута, необязательны. Какого маршрута автобус, ясно по времени его прибытия. По такому же способу можно различать в многосигнальном видиконе сигналы цвета.

Перед мишенью рассматриваемого видикона располагаются полоски светофильтров, перпендикулярные строкам. Распространен вариант, в котором одна полоска пропускает только определенный свет (красный, синий, зеленый) и на всей мишени повторяется такое расположение фильтров в виде триад На рис. 34 показана структура таких фильтров, сигнальной пластины и сигнальных токов. На рис. 34,*а* точкой отмечено сечение электронного луча, штриховой линией — его путь и соответствующий этой структуре ток сигнала при идеально равномерной скорости движения сечения луча по строке На рис. 34,*б* сплошные линии ограничивают полоски фильтров, штриховые — гребенки сигнальных пластин, штриховой линией показано изменение сигнального тока при неодинаковых потенциалах сигнальных пластин, 1—2 — полоски, соответствующие сигнальным пластинам *1* и *2*. На рис. 34,*в* показано реальное соотношение ширины полосок фильтра и сечения луча, общий ток сигнала и полученные обработкой его три переменных тока, каждый из которых образован светом одного



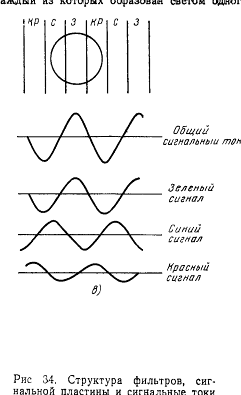


Рис 34. Структура фильтров, сигнальной пластины и сигнальные токи в триниконе

основного цвета. Длительность считывания электронным лучом строки и число на всей строке триад фильтров известны. Следовательно, известна длительность считывания триады и участка мишени под одним фильтром. Обозначим последнюю величину буквой T. Тогда от момента времени, когда считывание строки началось, в течение времени T идет сигнал, соответствующий одному основному цвету. В течение следующего промежутка T ток сигнала будет представлять собой сигнал второго основного цвета, а в течение третьего промежутка T — сигнал третьего основного цвета. На следующих триадах эта закономерность повторится. Таким образом, по времени, прошедшему с начала строки, ясно, какой сигнал передается, и вроде не нужно специального кодирования. Однако все будет именно так, если только строго соблюдаются интервалы времени. Попробуем оценить, какая точность для этого нужна. Предположим, вдоль строки располагается 400 триад (это ниже разрешающей способности приборов для вещания). Тогда ширина одной полоски фильтра равна 1/1200 от длины строки и, следовательно, время прохождения каждого такого отрезка должно быть равно 1/1200 длительности прохождения строки. Допустим, что время T на каком-то участке строки отличается от заданного на 1%. Следовательно, за то время, в течение которого электронный луч должен был пройти 100 фильтров, он прошел либо 99, либо 101 фильтр (в зависимости от того, отличалась его скорость на 1% от заданной в большую или меньшую сторону). Казалось бы, неточность в скорости мала. Но ведь в результате будет неверно определено, к какому цвету относится сигнал, и в передаче цвета произойдет сбой. Достичь нужной точности в перемещении по строке электронного луча пока нет возможности. Следовательно, нужна система сигналов, которая указывала бы: сейчас электронный луч там-то, а сейчас — там-то. Для того чтобы эти сигналы были безошибочными, их должен вырабатывать сам луч. К примеру, если перед мишенью после каждой полоски фильтра поместить непрозрачную полосу, то после сигнала каждого основного цвета некоторое время ток будет равен нулю. По этим нулевым отметкам можно определять, что сигнал одного цвета кончился и, значит, последующее значение тока относится уже к сигналу следующего цвета. Сигналы, определяющие положение луча, называются индексными или опорными. Поэтому и многосигнальные видиконы, в которых цвет сигнала определяется описанным способом, называются индексными.

От того, как вырабатываются опорные сигналы, сильно зависит качество изображения, создаваемого с помощью индексного видикона. Поэтому методы их создания все время совершенствуются.

В одном из самых совершенных способов опорный сигнал получается в виде переменного тока с известным положением максимума.

Для этого одна сигнальная пластина заменяется двумя, изготовленными в виде двух входящих друг в друга гребенок (т. е. подобно рис. 31, но с двумя гребенками). Каждая пара полосок гребенки совпадает с одной триадой фильтров. На первую и вторую сигнальные пластины подаются несколько отличающиеся потенциалы. Из-за этого при переходе с одной гребенки на другую изменяется сигнальный ток (рис. 34,*б*). Отделяя эти изменения от общего сигнального тока с помощью довольно сложной обработки сигнала, можно получать указанный выше переменный ток, максимумы которого совпадают с серединами полосок той сигнальной пластины, потенциал которой выше. По рис. 34 можно

легко определить, что максимум при этом сдвинут на 1/4Т от середины крайней правой полоски триады фильтров. Индексный видикон с таким способом создания опорного сигнала называется триниконом. Если разделить опорный сигнал на три части и первый ток задержать на время 1/4Т, второй — на время 5/4Т, третий — на 9/4Т, то по рис 34 можно определить, что максимумы трех задержанных опорных сигналов получаются в середине красного, зеленого и синего фильтров

Рассмотрим теперь подробнее, что собой представляет сигнал изображения от такого многосигнального видикона Сечение электронного луча значительно шире полосок фильтра (рис. 34,*в*), и поэтому оно перекрывает одновременно не менее двух полосок. Если сделать полоски шире сечения луча, то на длине строки уместится мало полосок, что приведет к очень низкой разрешающей способности трубки. Поэтому сигнальный ток, а вместе с ним и опорный, будет при движении луча изменяться не ступенчато, как показано на рис. 34,*а*, *б*, а будет плавно изменяющимся переменным током, в котором сигналы синего, зеленого и красного слиты. Разложим мысленно получаемый сигнал на три отдельных. Для этого предположим сначала, что мишень освещается только красным светом и, следовательно, фототок идет только под красными полосками. Очевидно, что сигнал с этих участков не будет представлять собой короткие импульсы тока, соответствующие узкой полоске фильтра в каждой триаде. Движущийся луч сначала перекрывает мишень под полоской фильтра своим передним краем. При этом сигнал будет мал, так как на краю луча поток электронов незначителен Затем, когда под этой полоской будет находиться середина луча, сигнал становится максимальным. После того как середина сдвинется и под полоской фильтра будет задний край луча, сигнал опять упадет. Затем аналогичный ток пойдет с участка под красной полоской следующей триады. Таким образом, сигнал от красного света — это переменный ток, изменяющийся с той же частотой, с какой луч проходит триады фильтров. Очевидно, сказанное о сигнале красного света справедливо и для сигналов от синего и зеленого. Получаемый единый сигнал радиотехническими устройствами разбивают на три переменных тока. Но как узнать, какой из токов какому свету соответствует. Для этого используют три опорных сигнала, о которых уже говорилось. Если максимум данного тока сигнала (одного из трех) совпадает с максимумом зеленого опорного сигнала, значит этот ток от зеленого света и т. д. Естественно, что все эти операции производятся автоматически, и по мере того, как электронный луч движется по мишени, в один усилитель поступают зеленые сигналы, в другой — красные, в третий — синие.

От одного видикона невозможно получить три или четыре сигнала с высоким разрешением. Сложность входного окна и обработки сигнала триникона еще более усложняют эту задачу. Но вспомним, что цвет нужен только в крупных деталях и только яркостный сигнал в ЦТ должен иметь высокое разрешение. В триниконе это обстоятельство использовано следующим образом. Все полосчатые фильтры сделаны так, что сигнал за ним от белого света одинаков. Поэтому для белого света во входном окне нет никакой структуры, оно эквивалентно входному окну видикона для черно-белого телевидения. Значит, яркостный сигнал, не несущий информации о цвете, может получаться без сложного кодирования и иметь более высокое разрешение (разрешение яркостного сигнала

ограничивается тем же способом, что и зеленого сигнала в видиконе с частотным кодированием). Цветовая же информация, получаемая описанным выше способом, имеет невысокое разрешение.

Трубки с индексным кодированием требуют сложной обработки сигнала и устроены сложнее других многосигнальных видиконов. Однако они характеризуются относительно хорошим качеством изображения.

Трубка и камера. Завершая рассмотрение различных классов передающих трубок, вспомним, что всякий электровакуумный прибор, чтобы он работал, должен быть подключен своими электродами к источникам питания. Сказанное относится и к передающим телевизионным трубкам Поэтому вблизи трубки, как и вблизи других электровакуумных приборов, должны находиться необходимые источники напряжения. Особенность передающей телевизионной трубки — это то, что у нее всегда еще есть «сосед» — объектив. Передается ли необозримый, во весь горизонт пейзаж, интерьер комнаты или лицо человека, — все это должно быть четко спроецировано на входное окно трубки в размере, равном рабочей поверхности окна (т. е. от нескольких квадратных сантиметров до долей квадратного сантиметра). Эта задача решается с помощью объектива.

Есть и другие постоянные «соседи» передающей трубки — предварительный усилитель, генераторы напряжения, служащего для отклонения электронного луча, и синхрогенераторы.

Сигнал трубки надо усилить. Причем, чтобы на малый сигнал не наложились помехи, первоначальное усиление должно быть сделано сразу на выходе трубки. Иногда усилитель, выполняющий такую функцию (предварительный), закрепляется прямо на трубке. Благодаря отклонению луча, осуществляемому с помощью генераторов отклоняющего напряжения, луч прочерчивает на мишени растр. Синхрогенератор — это «дирижер», управляющий всем «телевизионным оркестром», или, если переключиться в сравнениях из области искусства в царство техники, — это маятник, задающий ритм движения всему механизму. Синхрогенератор вырабатывает электрические импульсы, которые передаются вместе с сигналом трубки, и благодаря им строки и кадры на мишени передающей телевизионной трубки и на кинескопе телевизионного приемника начинают считываться одновременно

Если трубку с ее «соседями» расположить в коробке, то это и будет упрощенная модель телевизионной камеры — первого устройства телевизионной системы (см рис 1).

Оператору нужно знать, что именно проецирует объектив на передающую трубку. Для этого в простейших камерах имеется оптическое устройство, раздваивающее изображение, проецируемое на трубку. «Второй экземпляр» изображения через специальный глазок может наблюдать оператор. Такое устройство — видоискатель — используется и в фотоаппаратах. Недостаток оптического видоискателя — трудность наблюдения, так как изображение получается неяркое, особенно в тех случаях, когда освещенность мала. Поэтому во многих камерах есть кинескоп, на котором можно наблюдать передаваемое изображение. Но, чтобы кинескоп работал, надо и на его электроды подавать питание и генерировать напряжения, отклоняющие его электронный луч, нужен специальный усилитель, чтобы значительно усилить сигнал трубки, т. е. передающая камера должна иметь свой телевизор.

Выше мы говорили об элементах, обязательных для камеры Но есть элементы, которые используются не во всех камерах. Например, устройства для охлаждения или, наоборот, нагрева передающей трубки в камерах, которые соответственно должны работать при высокой или низкой температуре окружающей среды. Сюда же относятся различные устройства автоматики. Например, для камер, к которым оператор не имеет доступа, нужна не ручная, а автоматическая регулировка объектива для перехода от изображения крупного плана к мелкому.

Телевизионная камера может быть и кино- и фотокамерами. Они по уровню требуемого обслуживания доступны каждому любителю. При их использовании не требуется проявления пленки, изображение можно просмотреть на домашнем телевизоре Очевидно, что телевизионная кинокамера обязательно должна включать магнитофон, чтобы записать сигналы, генерируемые передающей трубкой в каждом кадре, на магнитную пленку Запоминающее устройство необходимо и фотокамере.

Телевизионная камера защищает трубку от неблагоприятных внешних воздействий, обеспечивает подачу на электроды необходимых питающих напряжений и нужную проекцию передаваемого изображения. Камеры бывают разных размеров: от очень больших, массой в полтонны, до небольшой коробочки, которую удобно держать одной рукой. Естественно, что конструкторы всегда старались сделать камеры меньше и легче, и с этой точки зрения очень важно, какие размеры имеет трубка. Но то, как построена камера, тоже сильно влияет на ее габаритные размеры и массу.

Важным резервом миниатюризации камер является возможность изготавливать их из двух частей, соединенных кабелем. Например, для переносной камеры большинство ее элементов располагается в отдельной сумке. Другая часть камеры, называемая камерной головкой, оказывается совсем небольшой. Какой минимум элементов необходимо оставить в головке, определяется тем, какие напряжения могут быть без искажения переданы по кабелю. (Исключение из камерной головки некоторых элементов может иметь и другие причины. Например, если камерная головка работает в условиях повышенной радиации или в химически активной среде, в ней не должно быть элементов, работа которых в таких условиях нарушается.)

Есть еще одна возможность построения камер для тех случаев, когда необходимо осмотреть очень малую полость, в которую камера не может быть помещена. В полость помещается не камера, а тонкий жгут из волокон с полным внутренним отражением света (см. гл. 4). На конце жгута — объектив. Изображение по жгуту доходит до передающей трубки, имеющей на входе волоконно-оптический диск, и по нему передается на фотопроводящую мишень или на фотокатод.

В первых камерах усиление сигналов изображения (называемых видеосигналами), генерирование и преобразование вспомогательных сигналов (например, синхросигналов) производилось с помощью радиоламп. Переход на полупроводниковые приборы резко уменьшил объем и массу камеры.

В первых камерах все элементы радиотехнического устройства соединялись между собой проводниками, концы которых припаивались в нужных точках схемы. Затем стал использоваться монтаж на печатных платах. При этом на изо-

лирующую плату с помощью специального шаблона заранее наносились полоски металлизации, заменяющие проводники, контактные площадки. Детали подсоединялись к уже готовым металлизированным полоскам. Затем стали наносить таким образом не только проводники. Ведь если на плату нанести тонкое покрытие, сопротивление которого значительно выше, чем проводящих полосок, то оно будет играть в радиосхеме роль сопротивления. Если же нанести две металлические пленки, а между ними — диэлектрическую пленку, то получится конденсатор. Следующим шагом на пути миниатюризации был переход к пленочным элементам, активно преобразующим ток: диодам и триодам. Если на изолирующую плату напылить полупроводник, имеющий n-проводимость (или придающий такой знак проводимости кристаллу, на который производится напыление), а затем напылить пленку полупроводника, имеющую p-проводимость, то получится диод. Подобным же образом может быть создан триод. Умение создавать все элементы радиосхемы в виде пленок, позволило в корне пересмотреть их устройство, размеры и методы изготовления. Полупроводниковый элемент (диод, тетрод) мал, но он мог бы быть еще меньше, потому что комочек полупроводникового материала, где происходят преобразования тока, заключен в предохранительный корпус с вводами, объем которого существенно больше самого полупроводника. В напыляемой радиосхеме, называемой интегральной микросхемой, пленочные триоды, например, корпусов не имеют. В специальном вакуумном устройстве для изготовления микросхем напыляются сначала одни пленки, потом другие, затем испарители могут быть сдвинуты и испарение продолжается на других участках. Элементы располагаются предельно компактно, непосредственно вырастая друг из друга. При таком методе изготовления то, что раньше представляло собой крупный блок радиоаппаратуры, может быть размером меньше спичечной коробки.

В современных телевизионных камерах применение интегральных микросхем значительно уменьшило их габаритные размеры. Если же камера выпускается несерийно, экономически невыгодно изготавливать интегральные микросхемы специально для нее. Объем камеры в этом случае возрастает.

В последние годы в камерах появилось новое устройство — микропроцессор. Его конкретное назначение может быть различным. Но в общем виде задача компьютера — анализировать условия передачи и в каждом случае добиваться оптимальной настройки.

Трехтрубочные камеры цветного телевидения много больше камер черно-белого телевидения. В них три трубки, три комплекта магнитных катушек для управления лучом в трубках, три предварительных усилителя и т. д. В камере после объектива должно быть цветоделительное устройство, чтобы получить отдельные цветовые потоки для каждой трубки и фильтры для корректировки цветовых сигналов каждой трубки. В трехтрубочных камерах ЦТ имеется ряд специальных устройств автоматики. Так, например, необходима автоматика, чтобы растры трех трубок все время совпадали (вне зависимости от изменений температуры, окружающей среды, сотрясений, испытываемых камерой, и других воздействий). Поэтому масса первых камер ЦТ на трех суперортиконах достигала 400 кг. Затем она стала уменьшаться благодаря замене суперортиконов видиконами (плюмбиконами-глетиконами, сатиконами) и тем изменениям в самих камерах, о которых говорилось выше. С появлением многосигнальных ви-

диконов размер камер ЦТ стал практически равен размеру черно-белых камер. Существуют камерные головки ЦТ, кожух которых почти облегает трубку и равен ей по длине (колба трубки имеет диаметр 13 ... 18 мм). На внутренней стороне кожуха закреплено несколько микросхем. Такая головка весит без объектива менее 200 г, а с объективом — менее 500 г.

Внешний вид камер очень различен. Большая прямоугольная коробка — это обычно неподвижная камера. Переносная камера имеет форму, делающую ее удобной при переноске, работе с ней с плеча или руки. Камера для просмотра скважин, труб имеет, естественно, форму вытянутого цилиндра. Камера для подводного телевидения — это герметичный толстостенный снаряд, способный противостоять давлению воды на глубине и т. д.

Выпуск камер ЦТ, настолько простых и дешевых, чтобы их могли покупать и обслуживать частные лица, стал возможным благодаря многосигнальным видиконам и микросхемам. Это — класс бытовых камер, ранее существовавших лишь в черно-белом варианте. Наиболее распространены среди них камеры-киноаппараты.

Малые габаритные размеры, простота и надежность камер на многосигнальных видиконах привели к более широкому применению ЦТ при решении прикладных задач. Выше уже отмечалось, что во многих случаях черно-белое изображение не дает нужной информации. К этому можно добавить примеры, связанные с использованием ЦТ в медицине. Так, при рассмотрении внутренних органов человека с помощью многосигнального видикона изображение можно наблюдать на большом экране и обсуждать увиденное несколькими специалистами. Можно изображение записать на видеомагнитофон и затем сравнить его с полученным позднее, что позволит лучше проанализировать ход болезни.

Рассматривая металлические конструкции в цвете, можно обнаружить на них ржавчину, когда она только начинает появляться и в черно-белом изображении еще неотличима от чистого металла. То же самое относится и к разрушению металла под действием химически активных веществ, которое начинается с того, что образуются пленки, отличающиеся по цвету от основного металла. С помощью ЦТ под водой легче обнаружить посторонние предметы, если они не зеленого цвета, так как сама вода в толще имеет зеленоватый цвет.

Однако, сегодня качество передаваемого цветного изображения камерами на многосигнальных видиконах хуже, чем камерами на трех трубках. Поэтому в цветном вещании используются трехтрубочные камеры. Создание более совершенных многосигнальных видиконов — одна из важных задач электроники.

Глава 6

ПОЛУПРОВОДНИКИ ИДУТ В НАСТУПЛЕНИЕ

Нужны ли вакуум и электронный луч? Конструкторы передающих телевизионных трубок стремятся уменьшить их размеры, так как это позволит уменьшить и размер всей телевизионной камеры. Кроме того, в маленьком приборе меньше надо затрачивать энергии на создание магнитных полей, управляющих электронным лучом, легче добиться, чтобы конструкция была жесткой, не из-

меняющей своих свойств при тряске и ударах. Самые маленькие передающие трубки — видиконы. В малогабаритной группе видиконов диаметр приборов примерно 1 см, длина около 10 см. Фотопроводящая же мишень видиконов — это пленка толщиной от 1 до 30 мкм. Один микрометр — одна стотысячная доля десяти сантиметров. Следовательно, та часть видикона, в которой свет преобразуется в электрические заряды, заряды накапливаются для подавления шумов и затем при взаимодействии с электронным лучом образуют сигнал, — эта важнейшая часть прибора занимает 1/100 000 долю его объема. В других передающих приборах мишень не толще, а сами приборы больше. Значит, доля прибора, приходящаяся на мишень, еще меньше Чем же занят практически весь объем прибора и для чего он нужен? Из содержания предыдущих глав ясно, что этот объем используется для создания электронного луча, его фокусировки и отклонения. К этому надо добавить, что для управления электронным лучом на трубки одеваются тяжелые и громоздкие магнитные катушки, потребляющие энергии много больше, чем сама трубка. Так нельзя ли обойтись без электронного луча? Размеры прибора при этом резко уменьшились бы, сам прибор можно было бы сделать безвакуумным. Напомним, что вакуум в передающем приборе нужен для того, чтобы не сгорела нить накала катода и он бы не потерял своей способности испускать электроны, а движению электронов луча не мешали бы частицы газа (например, воздуха). Значит, прибор без электронного луча не нуждается в вакууме, если фотопроводящая пленка не теряет на воздухе свои свойства. А большинство фотопроводников удовлетворяет этому требованию. Следовательно, прибор без электронного луча будет не только меньше, но и значительно надежнее вакуумных приборов. Это уже доказано на примере полупроводниковых диодов и триодов, которые оказались много надежнее использовавшихся ранее вакуумных радиоламп.

Таким образом, преимущества передающего прибора безвакуумного и безэлектронного луча ясны. Но для создания таких приборов необходим способ, который позволил бы, не прибегая к помощи электронного луча и используя накопленные на мишени заряды, получить ток сигнала в цепи усилителя. К настоящему времени разработано и осуществлено несколько таких способов Соответственно существует и целый ряд приборов, называемых твердотельными аналогами передающих трубок (это название подчеркивает, что все процессы, ведущие к созданию сигнала, производятся в твердом теле и вакуумного объема нет). Далее мы расскажем о безвакуумных передающих приборах, получивших наибольшее распространение, — приборах с зарядовой связью (ПЗС).

Электрическое поле внутри полупроводника. Если к металлу поднести положительно заряженный электрод, то к месту, где он расположен, из объема металла будут притягиваться электроны. Так как свободных электронов в металле очень много, то число электронов в единице объема металла почти не изменится, но у поверхности, вблизи электрода будет собрано множество дополнительных электронов. В электрическом поле силовые линии идут от заряда одного знака и замыкаются на заряде другого знака. В рассматриваемом примере силовые линии из положительных зарядов электрода, который мы поднесли к металлу, замыкаются на тех дополнительных электронах, которые подошли к поверхности металла у электрода. Таким образом, электрическое поле от поднесенного электрода не проникает внутрь металла, так как существует защита от

электрического поля — «рубашка» из дополнительно собранных к этому месту электронов. Свойство металлов — не пропускать внутрь себя, а значит, и сквозь себя электрическое поле широко используется в технике. Чувствительные измерительные приборы, радиоприемники, телевизоры имеют металлические экраны, защищающие их от электрических полей.

Полупроводники в этом отношении резко отличаются от металлов. В полупроводниках свободных электронов немного. Если к поверхности полупроводника поднести положительно заряженный электрон, то электронная «рубашка», возникающая в этом месте, окажется состоящей из сравнительно небольшого количества электронов. Она будет недостаточно плотной, чтобы защитить полупроводник от проникновения внутрь него электрического поля. То, что электрическое поле проникает внутрь полупроводника, означает, что с помощью внешних электродов можно управлять движением электронов и дырок внутри него (в том числе и внутри фоточувствительного полупроводника). Это обстоятельство и используется для создания ПЗС.

Электронно-дырочные кладовые. Представим себе пленку фотопроводника, на обе стороны которой нанесены электроды, а на них подано напряжение. Предположим, что между электродом с положительным потенциалом и пленкой фотопроводника расположен тончайший слой диэлектрика (рис. 35), а сам электрод и изолирующий слой диэлектрика прозрачные и пленка через них может освещаться. Свет будет создавать в материале фотопроводника свободные носители тока — дырки и электроны. Создаваемые светом дырки, как и те темновые, которые существовали в пластинке до освещения, будут от положительного электрода сдвигаться внутрь пленки и уходить в отрицательно заряженный электрод. А вблизи поверхности будут оставаться фото- и темновые электроны, которые длительно сохраняются как свободные. Ведь свободные носители тока в полупроводнике могут исчезать или в результате процесса рекомбинации, или из-за ухода их в электроды. Но фотоэлектроны не могут дойти до положительного электрода, поскольку путь им в этом направлении преграждает слой диэлектрика, а рекомбинация невозможна, так как из пространства, в котором они находятся, дырки ушли. Следовательно, электроны будут накапливаться вблизи положительного электрода. При увеличении времени освещения или яркости световых вспышек растет количество накопленных фотоэлектронов Область вблизи положительного электрода, очищенная от дырок, работает как кладовая для хранения свободных электронов. Понятно, что, будь вблизи отрицательно заряженного электрода изолирующий слой, можно было бы там создать «кладовую» для хранения дырок. Наша пленка по своему действию подобна элементу фоточувствительной мишени видикона — она преобразует свет в элект-

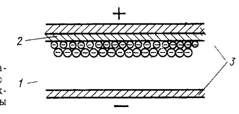


Рис. 35. Накопительная ячейка, образованная фотопроводником (1) с изолирующим слоем (2) и двумя электродами (3) (кружочками показаны накопленные электроны)

рические заряды и, накапливая эти заряды, может таким образом накапливать действие света.

А теперь представим себе, что электрод, расположенный поверх пленки диэлектрика, разделен на два. Один из них прозрачный, другой — нет и на оба электрода подан положительный потенциал, но на прозрачном электроде он выше. Под прозрачным электродом будут накапливаться фотоэлектроны, а под непрозрачным — не будут. Действительно, под непрозрачным электродом фотоэффект не возникает, а электроны из-под прозрачного электрода к нему не пойдут, так как у прозрачного потенциал выше Если же теперь потенциал непрозрачного электрода сделать выше, то электроны из ячейки-кладовой у прозрачного электрода перейдут в ячейку-кладовую непрозрачного Очевидно, что если за вторым электродом будет третий, то подобным образом заряд фотоэлектронов из-под первого электрода можно было бы переместить под третий электрод. Таким образом можно осуществить перемещение накопленного заряда по фотопроводнику.

Дальнейшим шагом на пути к передающему прибору будет следующий. Возьмем фотопроводящую пленку в виде полоски. На неосвещаемую поверхность нанесем сплошной электрод, на освещаемую — тончайший слой диэлектрика и поверх него — множество отдельных электродов. Каждый участок на освещаемой поверхности фотопроводящей полоски, который в дальнейшем будет одним элементом изображения, имеет в центре прозрачный электрод и слева и справа от него непрозрачные электроды, т. е. в каждом элементе три ячейки (рис. 36). Вдоль фотопроводящей полоски нанесены три узкие проводящие полоски, подводящие к электродам напряжения. Одна из проводящих полосок соединяет между собой все левые электроды, другая — все центральные, третья — все правые. Допустим, фотопроводящая полоска освещена, причем освещенность отдельных элементов неодинакова. На прозрачные электроды подано положительное напряжение, собирающее под ними электроны. Следовательно, под прозрачными электродами в электронных кладовых соберутся фотоэлектроны, причем больше в сильно освещенных ячейках Под непрозрачными электродами фотоэлектронов не будет (о темновых электронах говорить не будем — их в рабочем режиме много меньше, чем фотоэлектронов).

Перекроем затвором свет, падающий на фотопроводящую полоску, и дальнейшее накопление фотоэлектронов прекратится. Если теперь на правые электроды подать напряжение более высокое, а на левые более низкое, чем на центральный, то все фотоэлектроны сдвинутся вправо (они перейдут в ячейки

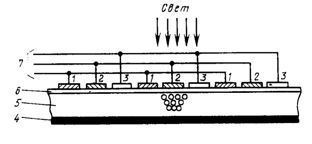


Рис. 36 Фотопроводящий стержень с тремя группами электродов:
1, 2, 3 — электроды (кружочками обозначены накопленные фотоэлектроны); 4 — сплошной электрод; 5 — фотопроводник; 6 — изолирующая пленка; 7 — проводящие полоски к электродам



Рис. 37 Накопление и перемещение накопленного заряда в фотопроводящем стержне с тремя группами электродов. Положительный потенциал на электроде тем выше, чем больше знаков + около него Распределение напряжения на электродах в процессе накопления (*а*), при переходе накопленных зарядов под правый электрод своего элемента (*б*), под левый электрод следующего элемента (*в*), под средний (прозрачный) электрод следующего элемента (*г*)

Рис 38 Фотопроводящий стержень-змейка для передачи изображения

правых электродов, а под левыми и центральным их не будет) (рис. 37). Если теперь подать на левые электроды напряжение более высокое, а на правые более низкое, чем на центральном, то фотоэлектроны снова сдвинутся направо (они перейдут из-под правого электрода под левый, относящийся уже к другому, центральному). Если теперь подать наиболее положительное напряжение на центральный электрод, все фотоэлектроны снова сдвинутся направо и под каждый центральный электрод перейдет пакет фотоэлектронов, который был накоплен под соседним центральным электродом. Если повторить описанный цикл изменения напряжений на электродах, то все заряды сдвинутся до следующего центральн го электрода. (Можно заметить, что при описанном порядке изменения напряжений правее электрода, под которым в данный момент находится заряд, напряжение выше, чем на нем самом, а левее — ниже. Чтобы выполнить это условие, необходимо электродов втрое больше, чем накопительных кладовых. Конечно, точно так же могут осуществиться условия, при которых сдвиг заряда будет всегда влево.)

Таким образом, все накопленные заряды «побегут» вдоль полоски, самый последний отрезок которой связан с усилителем Когда заряды начинают двигаться по полоске, из-под крайнего правого электрода они попадают в усилитель. В следующий же момент (т. е. после подачи на электроды новых импульсов напряжения) в усилитель попадут фотоэлектроны второго от края центрального электрода. Следовательно, ток усилителя со временем будет изменяться таким же образом, как распределены светлые и темные участки на полоске.

Если этот ток будет управлять свечением кинескопа, то и на нем получится светящаяся полоска с таким же распределением светлых и темных участков.

Задача, которую должно выполнять передающее устройство, решена, но только для распределения света вдоль одной полоски. Можно сделать устройство не в виде прямой полоски, а в виде изгибающейся змейки, чтобы оно покрывало прямоугольную площадь (рис. 38). Но такое устройство непригодно для практического использования. Ведь все время, пока по цепочке бегут заряды, т. е. время, за которое заряд фотоэлектронов из первого элемента доходит до усилителя, затвор закрыт и свет на устройство не попадает. Значит, процесс накопления идет не постоянно и часть света пропадает бесполезно Следовательно, чувствительность прибора низкая. Пока заряды из всей змейки выводятся в усилитель, движущиеся объекты могут значительно изменить свое положение. Значит, одно передаваемое положение может сильно отличаться от другого и движение будет передаваться не как плавное, а как прерывистое. Теперь представим, что в цепочке где-то повреждение. Если в ней 500 тыс. элементов, наличие одного дефекта вполне вероятно. Но тогда элементы, расположенные до неисправного, работают впустую, так как накопленные в них заряды до усилителя не дойдут. То есть, из-за повреждения в одной точке может не работать значительная часть устройства.

Линейка ПЗС. Иногда достаточно знать, как распределяется сила света вдоль одной линии. В этом случае описанная выше полоска, называемая линейкой ПЗС, может работать как передающий прибор. Чтобы увидеть кинофильм, можно с киноленты передавать изображение строку за строкой, а проецируемые на линейку строки будут сменяться благодаря перемотке ленты. Аналогично с движущегося самолета или спутника так может быть передано изображение расположенной внизу местности. Линейки ПЗС могут быть использованы в производстве для определения какого-либо размера. О том, как это делается с помощью видиконов, мы уже рассказывали в гл. 2. Рассмотрим один пример. На токарном станке обрабатывается вал, который должен после обработки иметь диаметр 100 мм с точностью до 0,1 мм, т. е. с точностью до 0,1%. Практически невозможно обеспечить с такой точностью равномерность отклонения электронного луча, необходимую для измерения. Поэтому при измерении с видиконами надо делать сложное дополнительное устройство, которое бы компенсировало неточность в движении электронного луча. Линейка ПЗС может быть связана со счетчиком, который считает, сколько импульсов, передвигающих заряд, подано на электроды. Пусть, например, линейка включает более 1000 светочувствительных элементов, а проекция вала на нее занимает как раз 1000 элементов. Значит, точность в 0,1% соответствует отступлению проекции от нормы на один элемент. Пока счетчик импульсов показывает, что проекция вала на линейку занимает 1003, 1002, 1001 элементов, резец продолжает точить вал. Как только счетчик покажет, что проекция равна 1000 элементам, вырабатывается команда, по которой станок заканчивает обработку. Такая линейка имеет в длину несколько сантиметров, ширина же ее около миллиметра, а толщина еще меньше. Малые габаритные размеры, малое потребление мощности, нечувствительность к ударам и вибрациям, долгий срок службы делают ее пригодной для использования в прикладном телевидении, в частности, в качестве глаз роботов (в данном примере управляющих станками). Достоинство линейки ПЗС еще и в том,

что ее можно сделать с очень большим числом элементов, но для поочередного вывода зарядов из всех элементов достаточно небольшого количества управляющих напряжений[1].

Получив представление о том, как работает линейка ПЗС, можно кратко сформулировать отличия в принципах работы ПЗС и вакуумных передающих трубок. В вакуумных трубках электрические заряды, освобожденные светом, накапливаясь на мишени, создают на ней потенциальный рельеф, который определяет, какая часть тока луча пойдет на зарядку мишени, а какая — отразится. Благодаря отраженной, или заряжающей части тока луча получается ток сигнала в усилителе.

В линейке ПЗС электрические заряды, освобожденные светом, накапливаются в электронно-дырочных кладовых и затем выводятся прямо в усилитель.

Матрица ПЗС. Рассмотрим теперь, как устроен прибор с зарядовой связью, способный передавать многострочное изображение. Такой прибор называется матрицей ПЗС. Существует много вариантов построения матриц. Мы рассмотрим одно из этих устройств. Матрица ПЗС изготавливается на пластине (пленке) фотопроводника. Она состоит из множества элементов, сгруппированных в столбцы (рис. 39). Причем если данный столбец чувствительный к свету, то соседний, поскольку он закрыт непрозрачным электродом, практически нефоточувствительный. Таким образом, в матрице чередуются столбцы: фоточувствительный (на рис. 39 заштрихованный) — нефоточувствительный (на рис. 39, не заштрихованный), фоточувствительный — нефоточувствительный и т. д. Как и в рассмотренной выше линейке, матрица имеет с одной стороны сплошной электрод, с другой — прозрачный диэлектрический слой и прозрачные электроды, отдельные для каждого элемента. С одной стороны мишени перпендикулярно столбцам проходит нефоточувствительная линейка, соединенная с торцами всех нефоточувствительных столбцов. Принцип управления матрицей такой же, как и линейкой ПЗС. Но порядок работы при этом следующий.

Допустим, в течение некоторого времени шло накопление фотоэлектронов в «кладовых» элементов фоточувствительных столбцов (рис. 39,*а*). Затем подачей

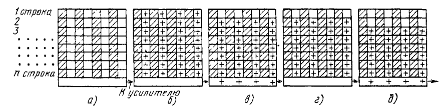


Рис. 39. Матрица ПЗС со строчно-кадровым переносом. Нефоточувствительная полоска снизу служит для вывода зарядов в усилитель. Горизонтальные линии соответствуют стопорным электродам, исключающим переход зарядов вверх и вниз по столбцам. Знак + в нефоточувствительном элементе означает, что в нем есть заряд

[1] При кратком знакомстве с устройством линейки, не охватывающем все процессы в этом приборе, как мы видели, достаточно трех управляющих напряжений. На самом деле прибор устроен сложнее, поэтому для работы его необходимо несколько больше управляющих напряжений.

импульсного напряжения на электроды, накопленные заряды переводятся в рядом с ними расположенные элементы нефоточувствительных столбцов (рис. 39,*б*). Следовательно, фоточувствительные столбцы освобождаются от накопленного заряда и могут продолжать накапливать световую энергию в виде фотоэлектронов (или фотодырок). А из нефоточувствительных столбцов начинается постепенный вывод переданных им зарядов. Сначала выводятся заряды из крайних элементов столбцов (т. е. заряды из элементов последней строки). Они выводятся в общую линейку, с которой соседствуют (рис. 39,*в*), и по ней постепенно выводятся в усилитель. В это время все остальные заряды сдвигаются на один элемент ближе к общей выводящей линейке. Затем в освободившуюся общую линейку (рис. 39,*г*) происходит таким же путем вывод зарядов предпоследней строки, занявших элементы, ближайшие к общей линейке (рис. 39,*д*). Потом выводятся заряды из следующей строки, и так далее до тех пор, пока все они не будут выведены в усилитель. После этого вновь повторяется процесс вывода накопленных зарядов из фоточувствительных столбцов в нефоточувствительные и т. д. Время накопления равно времени, в течение которого продолжается процесс вывода зарядов в усилитель. Как видно, при таком устройстве накопление происходит практически непрерывно, так как длительность импульса напряжения, переводящего накопленные заряды в нефоточувствительные столбцы, очень мала. Следовательно, достижима, как и у других приборов с накоплением, высокая чувствительность, а движение будет передавать плавно (не напоминая старые кинофильмы, в которых вследствие небольшого числа кадров, на которые разбивали изображение, человеческие фигурки ходили смешной, дергающейся походкой). Такое устройство не так чувствительно к отдельным дефектам изображения. Если разрыв есть в одном столбце, то не будет передаваться только часть этого столбца, а все остальные элементы матрицы могут быть переданы нормальным образом. И только разрыв в общей выводящей строке может иметь нежелательные для передачи изображения последствия.

Чтобы при подаче управляющих импульсов заряды переходили из столбца в столбец строго по данной строке, не смещаясь вверх или вниз по столбцу, вдоль строк через все столбцы выше и ниже каждого элемента проходят узкие стопорные электроды, потенциал которых исключает смещение накопленных фотозарядов вверх или вниз. Таким образом, в каждом элементе изображения несколько структурных элементов

Однако ПЗС имеет сложную структуру не только по всей поверхности, но и внутри пластины. Это связано с большим числом смещений зарядов в приборе. Так, очевидно, что вывод заряда из самой дальней ячейки для матрицы на 600 строк требует 600 перемещений по столбцу. В телевидении строка длиннее кадра в соотношении 4/3. Следовательно, чтобы рассматриваемый заряд дошел до усилителя, его надо сместить еще по линейке 800 раз Общее число смещений 1400. Полнота передачи заряда из ячейки в ячейку — важнейший показатель качества работы устройства с зарядовой связью Если при каждой передаче заряда из ячейки в другую ячейку часть заряда теряется, то от самых дальних элементов заряд сильно уменьшится и сигнал от этих элементов будет теряться в шумах.

Пример. Допустим, из ячейки в следующую ячейку переходит 99% имеющегося заряда и только 1% теряется Тогда после одного перехода в ранее пустой

ячейке будет 0,99 исходного заряда, в следующей ячейке будет 0,99·0,99 и т. д. Очевидно, после 1400 переходов будет заряд $0{,}99^{1400}$ ($\operatorname{tg} 0{,}99^{1400} = 1400 \cdot \overline{1}{,}9956 = -1400\ 0{,}0044 = -6{,}16$). Следовательно, дошедший заряд будет примерно в 1 млн. раз меньше исходного.

Заметим, что неполный вывод зарядов — еще одна причина, из-за которой нельзя сделать матрицу ПЗС, изогнув змейкой полоску. Ведь в таком приборе число необходимых смещений будет равно 500 тыс. В гл. 2, говоря о фотоэлектрической инерционности в видиконах, мы упоминали, что центров, которые задерживают свободные электроны и дырки, особенно много у поверхности Значит, и в ПЗС, чтобы полнее была передача зарядов, надо ее вести подальше от поверхности Поэтому в современных ПЗС верхний фотопроводящий слой обрабатывают таким образом, чтобы процессы, характерные для работающей ПЗС матрицы шли дальше от границы фотоприемника.

Матрица ПЗС сохраняет основное достоинство линейки ПЗС — количество управляющих напряжений гораздо меньше числа элементов в матрице.

Существует другой класс ПЗС, отличающийся построением от рассмотренного (рис 40). Эти ПЗС имеют две крупные области — светочувствительную и хранения, с примыкающей к ней линейкой для вывода носителей тока в усилитель. В светочувствительной области происходит накопление зарядов носителей тока, созданных светом Все накопленные в этой области заряды быстро (сравнительно с временем кадра) переводятся в аналогично расположенные ячейки области хранения. Затем в светочувствительной области вновь начинается накопление, а из области хранения постепенный вывод зарядов в усилитель Он происходит по схеме, рассмотренной выше. Упомянутые классы ПЗС соответственно называются ПЗС со строчно-кадровым переносом и ПЗС с кадровым переносом. Достоинство ПЗС с кадровым переносом — более простая структура прибора. Однако необходимость быстро перевести все накопленные заряды в область хранения создает в этом случае свои трудности.

На основе рассмотренных выше ПЗС созданы трехсигнальные приборы для цветного телевидения. Для этого перед ПЗС помещен полосчатый светофильтр, полоски которого расположены перпендикулярно строкам ПЗС, и каждая полоска перекрывает один столбец светочувствительных элементов. В светофильтр входят полоски с тремя различными характеристиками светопропускания, причем они закономерно чередуются. Фильтры могут быть основных цветов красными, синими, зелеными. Возможны и другие комбинации например, зеленый, желтый, голубой.

Представим себе для определенности, что крайняя полоска (у входа в усилитель) — голубой фильтр, а далее в триаде следует желтый и зеленый фильтры. Тогда в каждой строке первым импульсом напряжения, выводящим заряды из ПЗС в усилитель, будет выведен заряд, накопленный под действием голубой компоненты света. Вторым импульсом будет выведен заряд, накопленный под

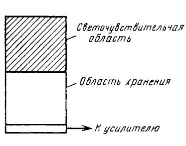


Рис 40 Матрица ПЗС с кадровым переносом

действием желтой компоненты, третьим — заряд от зеленой компоненты, четвертым — от голубой и т. д. Но если прибор создает три группы сигналов, каждая из которых соответствует определенной цветовой компоненте, и для каждого сигнала известно, какой цвет он представляет, то по таким сигналам может быть создано цветное изображение. Напомним, что в многосигнальных индексных видиконах разделение сигналов по цвету тоже основывается на моменте их прихода в усилитель. Но из-за нелинейности развертки в них приходится создавать специальный индексный сигнал для фиксации пройденных лучом триад, а поэтому значительно усложнять мишень для получения опорного сигнала. В ПЗС эта задача выполняется счетом выводящих заряды импульсов, необходимых для работы любого ПЗС.

Для работы в цветном телевидении устройство ПЗС несколько изменяется. Изменения сводятся в основном к удалению на пути светового потока элементов, поглощающих синий свет, так как чувствительность ПЗС к синему свету невелика, что затрудняет его использование для цветных передач. Недостатком многосигнальных приборов на ПЗС является малое число элементов в создаваемом изображении. Ведь разрешающая способность ПЗС ниже, чем у видиконов, а в «цветном» ПЗС в элемент изображения входят три светочувствительных элемента, т. е. разрешение вдоль строки уменьшается еще в 3 раза. Если применяются фильтры зеленый, желтый (т. е. пропускающий зеленый и красный свет), голубой (т. е пропускающий синий и зеленый свет), то, так как зеленый свет передается всеми элементами строки, разрешение в этом свете будет самым высоким и сигнал от зеленого света целесообразно использовать как яркостный сигнал, аналогично тому, как это делалось и в многосигнальных видиконах с частотным кодированием. Существуют также «цветные» ПЗС, у которых три отдельных вывода к трем усилителям и к каждому выводу поступают заряды от определенных полосок фильтра.

Рассказывая о матрице ПЗС, мы не сказали о том, как и из чего такие сложные устройства изготавливаются. Технология, позволяющая делать приборы с сверхминиатюрными элементами, — одно из крупных достижений современной техники, но рассказ о ней увел бы нас далеко от основной темы данной книги. А вот о материале для ПЗС рассказать просто, поскольку сегодня такие структуры изготавливают практически только из кремния, проводимость которого легко изменять (в том числе — электронную на дырочную). Это можно сделать, воздействуя, например, на кремний парами различных веществ. Окисляя кремний, легко на нем создавать прозрачную изолирующую пленку, которая может быть при необходимости удалена травлением в кислоте. Перечисленные свойства и дают возможность изготавливать ПЗС матрицы из кремния.

Приборы вакуумные и приборы твердотельные. С появлением твердотельных аналогов передающих трубок прикладное телевидение получило новый класс приборов, отличающийся длительным сроком службы и высокой надежностью — свойствами, особенно важными в прикладном телевидении. В прикладном телевидении для решения некоторых задач часто бывает необходимым считывать накопленные на мишени заряды не как обычно, строку за строкой, а по более сложному закону Необходимо бывает точно знать координаты

считываемого в данный момент элемента. Такие задачи проще решаются с помощью ПЗС.

Однако по ряду параметров твердотельные приборы уступают вакуумным трубкам.

В видиконах, например, выше разрешающая способность. Ведь одному участку изображения в твердотельном приборе соответствуют несколько отличающихся по своим свойствам участков на поверхности кристалла кремния. Напомним, что в ПЗС — это участок с прозрачным электродом, участок с непрозрачным электродом, стопорные участки Понятно, что в однородной мишени видикона элемент изображения может быть сделан меньше, и следовательно разрешающая способность выше. Поэтому в вещании и в других случаях, когда качество изображения должно быть особенно высоким, применять твердотельные приборы нецелесообразно. Твердотельные приборы, поскольку они используют внутренний фотоэффект, не могут заменить вакуумные трубки в ночном телевидении.

Твердотельные передающие приборы меньше видиконов Но разработаны видиконы, на которые не надо надевать внешние катушки и, так как поля, фокусирующие и отклоняющие электронный луч, создают электроды, расположенные внутри прибора. Год от года такие видиконы усовершенствуются, и по величине и потребляемой мощности они ненамного превосходят твердотельный прибор, взятый вместе с его управляющими устройствами. И твердотельный прибор, и видикон часто бывают меньше, чем, например, объектив камеры. Следовательно, размер всей камеры в обоих случаях примерно одинаков

Очевидно, что и в настоящее время и в будущем в телевидении будут использоваться и вакуумные, и твердотельные приборы.

Гибридные приборы. Твердотельные приборы делают пока только из кремния. Для создания же видиконов может быть использовано много различных фотопроводников и приборам можно придать более разнообразные свойства. В связи с этим в настоящее время ведутся опыты по созданию приборов, представляющих собой как бы гибрид видикона и ПЗС. В таком приборе преобразование света в электрические заряды происходит в фотопроводящем слое, похожем на мишень видикона, а вывод накопленных зарядов в усилитель осуществляется устройством, подобным матрице ПЗС (рис. 41). Отличие от матрицы состоит в том, что в нижней части этого устройства нет преобразования света в свободные электрические заряды. Задача его только в выводе зарядов, созданных в верхнем слое. Поэтому структура матрицы несколько изменяется. В качестве фотопроводника в таком приборе могут быть использованы различные материалы. Напомним, что в матрице ПЗС, о которой мы рассказывали выше, около половины света пропадает, так как часть площади занимают нефоточувствительные участки. Если же ПЗС покрыт сверху сплошной пленкой

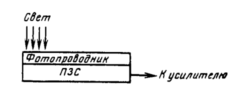


Рис. 41. Гибрид видикона с ПЗС

фотопроводника, то преобразование света в электрические заряды происходит по всей площади устройства.

В гл. 4, рассматривая возможность создания высокочувствительных приборов, способных работать ночью, мы выяснили, что для них необходимо использовать внешний фотоэффект. Причина этого — меньшие, чем в фотопроводниках, темновые токи Значит ли это, что с помощью устройств типа ПЗС нельзя уменьшить размеры и повысить надежность приборов ночного телевидения? Для этих целей новые возможности открывают гибридные приборы. Для преобразования света в электрические заряды они используют внешний фотоэффект Но фотокатоды имеют на своей поверхности очень тонкую, в один атом толщиной, пленку щелочных металлов, которая существует, не окисляясь, только в вакууме Значит, прибор должен быть вакуумным. Чтобы собрать вместе все фотоэлектроны, вылетающие за время кадра из каждого элемента изображения напротив фотокатода должна располагаться накопительная мишень Фокусировка магнитными или электростатическими полями должна собирать все фотоэлектроны, выходящие из определенного участка фотокатода, на одном участке мишени. Такую секцию переноса с фотокатодом и мишенью имеют все вакуумные приборы для ночного телевидения. А вот в гибридном приборе мишень должна быть устройством с зарядовой связью. Элементы его накапливают заряды с фотокатода, а затем управляемые импульсами на электродах, выводят их к усилителю Секция считывания, которая занимает большую часть вакуумных приборов, оказывается ненужной. Значит, резко сокращается объем прибора Первые сообщения о таких приборах появились в научной литературе

Глава 7

О ТОМ, ЧЕГО В ЭТОЙ КНИГЕ НЕТ

Приборы существующие, но в книгу не вошедшие. Расскажем кратко о том, какие еще существуют передающие телевизионные приборы.

Мелкие объекты в телевидении передаются высокочастотными сигналами. Так, если объект имеет размер в один элемент, то длительность соответствующего ему импульса тока можно вычислить исходя из того, что кадр длится 1/25 с, а в кадре 500 тыс. элементов Результат будет $8 \cdot 10^{-8}$ с. Крупные объекты передаются относительно продолжительными импульсами, т. е. низкочастотными токами Значит, усилители телевизионных сигналов должны усиливать токи в очень широком диапазоне частот. Но при этом усиливаются и шумы различных частот и общий шум на выходе усилителя получается большим В прикладном телевидении при передаче не быстро движущихся объектов можно чувствительность всей теливизионной системы увеличить, работая в следующем режиме. На короткое время открывается затвор объектива и на мишени трубки создается потенциальный рельеф, соответствующий передаваемому изображению А затем (в некоторых случаях не сразу) луч считывает этот рельеф, но за время, в десятки, сотни, тысячи раз большее обычного

кадра. Поэтому высокочастотных токов в сигнале нет. Усилитель для такой телевизионной системы делается не пропускающим высокочастотных токов, и соответственно на выходе усилителя шумы меньше. Значит, можно получать изображение малоосвещенных объектов Можно увеличить расстояние, на которое передаются телевизионные сигналы, не опасаясь их постепенного ослабления (например, при передачах из космоса). Но для этого нужен специальный передающий прибор, который бы «запомнил» спроецированное изображение и «помнил» бы его до тех пор, пока это изображение не будет полностью считано. Существует очень много разновидностей таких трубок (видиконов). Они различаются по длительности памяти, по тому, как однократно или многократно можно считывать один кадр и другим своим характеристикам, а также по механизму работы прибора.

Одним из крупных успехов развивающейся космонавтики была передача на Землю фотографии обратной, невидимой стороны Луны. Она была сфотографирована нашим спутником, пролетавшим над обратной стороной Луны На спутнике была лаборатория, которая автоматически выполнила проявление снимка. Когда же спутник вышел из-за лунного диска, фотография была передана на Землю. Если бы в то время были трубки с памятью, все фотографические процессы были бы не нужны. Передающая трубка «запомнила» бы изображение Луны в виде потенциального рельефа на своей мишени и в нужный момент выдала бы соответствующие ему сигналы

Для наблюдения из космоса существуют трубки, способные передать во много раз больше элементов, чем обычные «земные» трубки.

В прикладном телевидении часто возникает необходимость различать объекты хорошо освещенные, но очень мало отличающиеся по яркости. С такими малоконтрастными изображениями имеет дело, например, подводное телевидение Так как вода сильно рассеивает свет, то какой бы сильный источник света не поместить под водой, все равно различать отдельные предметы трудно Созданы специальные трубки, способные увеличивать контраст передаваемого изображения

Странная радиостанция и телевидение. Представьте себе, что где-то в труднодоступных горах установлена автоматическая радиостанция, которая через определенные промежутки времени радирует на Большую землю сводки следующего содержания: Сообщает метеорологическая станция номер такой-то, установленная обсерваторией такой-то такого-то числа, месяца, года, расположенная на таком-то градусе, таких-то минутах северной широты, таких-то градусах, таких-то минутах восточной долготы. Температура воздуха столько-то градусов, скорость ветра такая то. Но давайте присмотримся к передаваемому тексту. Не кажется ли Вам, что запас батарей станции расходуется попусту? Зачем сообщать, что передача ведется такой-то станцией? Ведь тем, кто ее принимает, известно, что на данной волне в это время сообщения ведет именно эта станция. Кем она установлена и когда, принимающий сообщение и так знает, да и вряд ли эти сведения нужны ежедневно. Координаты станции тоже известны. Таким образом, оказывается, что значительная часть этого длинного сообщения станции ничего нового для принимающих не содержит и не несет полезной информации. Нужная информация только о температуре и силе ветра.

Этот пример сообщения метеорологической станции напоминает положение дел в телевидении. Свой рассказ о передающих телевизионных приборах мы начали с утверждения того, что для хорошего качества изображения оно должно быть разбито на 500 тыс. элементов и, чтобы без искажений передавать движение, необходимо все эти элементы передавать 25 раз в секунду. Но вот, представьте, передается спектакль, действие происходит в какой-то комнате. Значительное место в передаваемой сцене занимают крупные, абсолютно неподвижные предметы: обстановка комнаты, стены. Например, одну четверть изображения во всю ширину его занимает в течение одной минуты потолок комнаты, на котором нет никаких мелких деталей. И значит, 500 000 : 4 = 125 000 элементов, расположенных на потолке, будут передаваться в течение 1500 кадров (в одной секунде 25 кадров). Вся же информация об этом, если ее передавать словами, требует всего 50 букв. А ведь сложность передающих приборов и всей телевизионной системы в целом связана с требованием передать 25 раз в секунду сигналы от 500 тыс. элементов.

В этой связи приведем еще пример. Ни один банк не содержит в своей кассе столько денег, чтобы иметь возможность в течение одного дня выдать всем вкладчикам полностью их вклады. Основная сумма денег банка находится в обороте. В кассе же держать большое количество денег нет необходимости, поскольку длительный опыт позволяет установить тот небольшой процент от общего капитала, который может быть востребован.

В телевидении, для того чтобы передать неподвижный предмет, не надо передавать его 25 раз в секунду. И для того, чтобы передать крупную деталь, не надо добиваться высокой разрешающей способности передающего прибора и создавать сложные телевизионные усилители. Но трудность заключается в том, что, в отличие от рассмотренного примера с банком, мы не знаем, что нужно будет передавать в следующий момент. Только что передавалось чистое небо, даже без облаков, — гладкий ровный фон, не требующий ни передачи движения, ни передачи мелких деталей. Но в следующее мгновение будет воздушный бой. Быстро движущиеся и мелкие объекты могут появиться в любое время в любом участке изображения, и телевидение должно быть к этому готово. Вот где его трудности. Таким образом, получается, что с одной стороны, телевидение пока еще не удовлетворяет всем требованиям с точки зрения передачи мелких деталей. Надо было бы разбивать изображение на еще большее число элементов, чтобы качество телевизионного изображения приблизилось к качеству изображения в кино, а с другой стороны, оказывается, оно имеет огромные резервы, так как даже имеющиеся возможности, т. е. способность передавать по 500 тыс. элементов 25 раз в секунду, практически используются в очень малой степени.

Как же сделать, чтобы телевидение не уподоблялось той метеорологической станции, с которой был начат рассказ, и каждый передаваемый телевизионный сигнал нес полезную информацию. Вопрос этот наукой и техникой еще не решен. Пытаются, например, создать камеры, в которых передающий прибор и ЭВМ, анализирующая изображение, действовали бы как единое целое. Когда проблема будет решена, тогда можно получать изображения более высокого качества.

Телевидение и живая природа. Такие создания человека, как автомобиль, самолет, турбина позволяют передвигаться, летать, быстрее всего живого, создавать механические усилия, не идущие ни в какое сравнение с силой живых организмов Все эти машины по своему устройству непохожи на то, что существует в природе. Но люди присматриваются к тому, как похожие задачи решаются в мире живых существ. Возникла наука бионика, изучающая целесообразность использования в технике «конструкторских» решений, созданных живой природой. Так, оказывается, что есть преимущества у планеров с машущими, как у птиц, крыльями, у кораблей, позаимствовавших кое-что в строении корпуса от дельфинов, и т. д. То же самое относится к восприятию изображений. Так, число элементов изображения, которое различают живые существа, значительно выше, чем число светочувствительных элементов в их глазах. А достигается это за счет небольших смещений глаза. Телевидению есть чему научиться и от механизма зрения живых существ, основанного на том, что под действием света разлагаются молекулы белкового вещества, названного родамином. При разложении молекулы родамина возникает электрический импульс. Этот импульс зрительным нервом передается в мозг, где и воспринимается изображение. Если глаз смотрел на что-нибудь яркое, то чувствительность его оказывается пониженной. Это потому, что под действием большого потока света значительное количество родамина разложилось и его в глазу осталось меньше, чем обычно. Если же освещение слабое, то родамина разлагается мало и количество его в глазу увеличивается. Чувствительность зрения повышается. Таким образом, характеристики зрения изменяются в широких пределах, подстраиваясь к условиям наблюдения. Например, было обнаружено, что при долгой выдержке в темноте чувствительность зрения настолько возрастает, что человеческий глаз способен фиксировать один-единственный квант света — мельчайший кирпичик световой энергии.

Из изложенного следует, что эффективные передающие телевизионные приборы можно основывать и на фотохимических явлениях. Но для этого надо создать в приборе небольшую химическую лабораторию, в которой бы постоянно синтезировалось разлагаемое под действием света вещество (родамин или какое-либо другое). Пока таких приборов нет.

Эпилог-заключение

Заканчивается наше путешествие в страну электроники Оно было подобно путешествию на самолете Как с высоко летящего самолета видны лишь крупные географические объекты, так и мы в своем рассказе могли познакомиться лишь с основными идеями построения передающих телевизионных приборов, не рассматривая подробно процессы образования сигналов, без знания которых нельзя получить высокого уровня параметров приборов Мы познакомились с большим числом оригинальных технических решений, примененных при создании этих приборов, однако мало воплотить основную идею, надо чтобы все элементы прибора обладали наилучшими характеристиками. Это относится к свойствам используемых фотокатодов, фотопроводящих мишеней, поверхностей, испускающих вторичные электроны, кремниевых кристаллов, термокатодов, всех электродов приборов, их оболочкам и т. д. Чтобы достигнуть необходимых характеристик, нужны усилия физиков, химиков, оптиков и многих других специалистов. И, если Вы, читатель, ищите достойное приложение своим силам, — в этой области Вы его найдете.

Оглавление

Научно-популярное издание

Массовая радиобиблиотека. Вып. 1137

ГЕРШБЕРГ АНАТОЛИЙ ЕВГЕНЬЕВИЧ

ЭЛЕКТРОННЫЕ ГЛАЗА ТЕЛЕВИДЕНИЯ

Руководитель группы МРБ И. Н. Суслова
Редактор О. В. Воробьева
Художественный редактор А. В. Проценко
Технический редактор О. А. Гришкина
Корректор Т. В Дземидович

ИБ № 1485

Сдано в набор 6.09.88. Подписано в печать 23.11.88.
Т 21827 Формат 60×90/16 Бумага кн.-журн № 2 Гарнитура литературная
Печать высокая Усл. печ. л. 5,0 Усл. кр.-отт. 5,25 Уч.-изд л. 6,32
Тираж 30 000 экз Изд. № 21740 Зак. № 136 Цена 45 к.
Издательство «Радио и связь». 101000 Москва, Почтамт, а/я 693

Типография издательства «Радио и связь». 101000 Москва, ул. Кирова, д. 40

45 к.



Электронные
глаза
телевидения

Издательство «Радио и связь»